

CARLOS HENRIQUE GUIMARÃES COIMBRA

**AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO BRUNO UTILIZADO
EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA**

Dissertação apresentada como um dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Luiz de Paula
Souza

CURITIBA

1999




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO
C.P. 2959, FONE 041-350-5648, FAX 041-2523689 CURITIBA PR 80.035
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

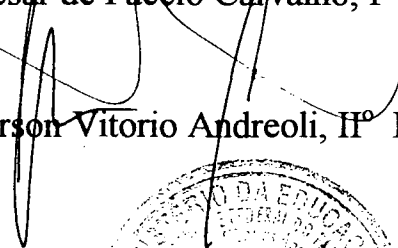
PARECER

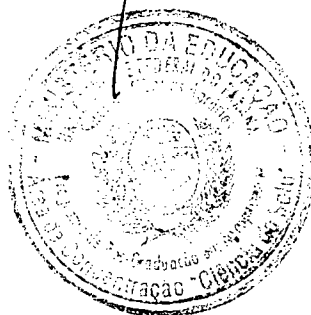
Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **CARLOS HENRIQUE GUIMARÃES COIMBRA**, com o título: "**Avaliação da compactação de um Latossolo Bruno utilizado em sistema de integração lavoura-pecuária**" para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação - conceito "**B**" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 26 de fevereiro de 1999.


Prof. Dr. Anibal de Moraes, Presidente.


Prof. Dr. Paulo César de Faccio Carvalho, Iº Examinador.


Prof. M.Sc. Cleverson Vitorio Andreoli, IIº Examinador.



AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Marcos Luiz de Paula Souza pelos valiosos ensinamentos e segura orientação;

Ao Professor Dr. Aníbal de Moraes pela co-orientação e auxílio na condução do trabalho;

Ao Eng.^o Agrônomo Itacir Sandini pelo grande auxílio na execução dos trabalhos de campo;

À Cooperativa Agrária Mista de Entre Rios e à FAPA – Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária pelo apoio material concedido durante a execução deste projeto;

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de estudo concedida durante o curso de mestrado;

A todos os professores, aos funcionários do Laboratório de Física do solo, aos funcionários da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho;

À minha esposa, meus pais e irmãos pelo apoio, solidariedade e estímulo.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	vii
LISTA DE GRÁFICOS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	3
2.1.1 Conceitos.....	3
2.1.2 Processos de compactação do solo.....	3
2.1.3 Determinação da compactação.....	4
2.1.3.1 Densidade do solo.....	4
2.1.3.2 Penetrometria.....	5
2.1.4 Causas e efeitos da compactação.....	8
2.1.4.1 Influência do pisoteio.....	8
2.1.4.2 Influência no crescimento das plantas.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO.....	13
3.2 CLIMA E SOLO.....	13
3.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	14

3.3.1 Compactador.....	14
3.3.2 Coletor de amostras.....	15
3.3.3 Penetrômetro.....	15
3.4 ÁREA EXPERIMENTAL.....	16
3.5 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO ESTATÍSTICOS.....	18
3.6 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL E DURAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	19
3.6.1 Condução do experimento.....	20
3.6.2 Coleta e análises físicas.....	21
3.6.3 Métodos analíticos.....	21
3.6.3.1 Determinação da Umidade gravimétrica (U%).....	21
3.6.3.2 Determinação da Densidade do solo (Ds).....	22
3.6.3.3 Determinação do Índice de cone (IC).....	22
3.6.4 Descrições do sistema de exploração animal.....	22
3.6.4.1 Método de pastejo.....	22
3.6.4.2 Medidas.....	23
3.7 ESTIMATIVA DA MASSA DE FORRAGEM.....	23
3.8 AJUSTE DA CARGA ANIMAL.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO.....	26
4.1.1 Curva de compactação.....	26
4.1.2 Relação entre Índice de cone (IC), Densidade do solo (Ds) e Umidade volumétrica (%).....	28

4.1.3 Variação temporal de Densidade do solo (Ds) e Índice de cone (IC), com Umidade volumétrica padronizada a 50%.....	32
4.2 RENDIMENTO DE CULTURAS EM SUCESSÃO À PASTAGEM.....	37
4.3 RESPOSTA ANIMAL.....	38
4.3.1 Ganho médio diário.....	38
4.3.2 Ganho por área.....	39
5 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS.....	41
APÊNDICE.....	47
ANEXOS.....	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Energias aplicadas nos ensaios de compactação.....	15
Quadro 2- Resumo das análises de variância com o quadrado médio das variáveis Umidade do solo (%), Índice de cone (kgf.cm^{-2}) e Densidade do solo (g.cm^{-3}) no experimento de milho em sucessão ao pastejo de inverno. FAPA, Campo 12, Colônia Vitória - Entre Rios - Guarapuava -PR.....	31
Quadro 3 - Médias das variáveis Umidade do solo (%), Índice de cone (kgf.cm^{-2}) e Densidade do solo (g.cm^{-3}) em três profundidades, no experimento de milho em sucessão ao pastejo de inverno. FAPA, Campo 12, Colônia Vitória, Entre Rios, Guarapuava, PR.....	32
Quadro 4 - Médias das variáveis Umidade do solo (%) e Índice de cone (kgf.cm^{-2}) em quatro épocas de avaliação, no experimento de milho em sucessão ao pastejo de inverno. FAPA, Campo 12, Colônia Vitória, Entre Rios, Guarapuava, PR.....	34
Quadro 5 - Médias das variáveis Índice de cone (kgf.cm^{-2}) e Densidade do solo (g.cm^{-3}) em três profundidades, dentro das quatro épocas de avaliação, no experimento de milho em sucessão ao pastejo de inverno. FAPA, Campo 12, Colônia Vitória, Entre Rios, Guarapuava, PR.....	35
Quadro 6 -Médias da variável Densidade do solo (g.cm^{-3}) em três níveis de oferta de forragem (%) em quatro épocas de avaliação, no experimento de milho em sucessão ao pastejo de inverno. FAPA, Campo 12, Colônia Vitória, Entre Rios- Guarapuava - PR.....	37
Quadro 7- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 5% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 45 dias de pastejo.....	48
Quadro 8- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 5% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 86 dias de pastejo.....	49
Quadro 9 - Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 5% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 197 dias da cultura do milho.....	50
Quadro 10- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 5% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 268 dias da cultura do milho.....	51

Quadro 11- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 10% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 45 dias de pastejo.....	52 .
Quadro 12- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 10% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 86 dias de pastejo.....	53
Quadro 13- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 10% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 197 dias da cultura do milho.....	54
Quadro 14- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 10% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 268 dias da cultura do milho.....	55
Quadro 15- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 15% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 45 dias de pastejo.....	56
Quadro 16- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 15% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 86 dias de pastejo.....	57 .
Quadro 17- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 15% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 197 dias da cultura do milho.....	58
Quadro 18- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 15% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 268 dias da cultura do milho.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1a – Variação temporal do Índice de cone e Umidade na superfície do solo, a 5% de oferta de forragem.....	60
Gráfico 1b – Variação temporal da Densidade do solo e Umidade na superfície, a 5% de oferta de forragem.....	60
Gráfico 2a – Variação temporal do Índice de cone e Umidade na profundidade de 6 a 9 cm, a 5% de oferta de forragem.....	61
Gráfico 2b – Variação temporal da Densidade do solo e Umidade na profundidade de 6 a 9 cm, a 5% de oferta de forragem.....	61
Gráfico 3a – Variação temporal do Índice de cone e Umidade na profundidade de 12 a 15 cm, a 5% de oferta de forragem.....	62
Gráfico 3b – Variação temporal da Densidade do solo e Umidade na profundidade de 12 a 15 cm, a 5% de oferta de forragem.....	62
Gráfico 4a – Variação temporal do Índice de cone e Umidade na profundidade de 0 a 3 cm, a 10% de oferta de forragem.....	63
Gráfico 4b – Variação temporal da Densidade do solo e Umidade na profundidade de 0 a 3 cm, a 10% de oferta de forragem.....	63
Gráfico 5a – Variação temporal do Índice de cone e Umidade na profundidade de 6 a 9 cm, a 10% de oferta de forragem.....	64
Gráfico 5b – Variação temporal da Densidade do solo e Umidade na profundidade de 6 a 9 cm, a 10% de oferta de forragem.....	64
Gráfico 6a – Variação temporal do Índice de cone e Umidade na profundidade de 12 a 15 cm, a 10% de oferta de forragem.....	65
Gráfico 6b – Variação temporal da Densidade do solo e Umidade na profundidade de 12 a 15 cm, a 10% de oferta de forragem do solo, a 15% de oferta de forragem.....	65
Gráfico 7a – Variação temporal do Índice de cone e Umidade na superfície do solo, a 15% de oferta de forragem.....	66
Gráfico 7b – Variação temporal da Densidade do solo e Umidade na superfície, a 15% de oferta de forragem.....	66
Gráfico 8a – Variação temporal do Índice de cone e Umidade na profundidade de 6 a 9 cm, a 15% de oferta de forragem.....	67

Gráfico 8b – Variação temporal da Densidade do solo e Umidade na profundidade de 6 a 9 cm, a 15% de oferta de forragem.....	67
Gráfico 9a – Variação temporal do Índice de cone e Umidade na profundidade de 12 a 15 cm, a 15% de oferta de forragem.....	68
Gráfico 9b – Variação temporal da Densidade do solo e Umidade na profundidade de 12 a 15 cm, a 15% de oferta de forragem.....	68
Gráfico 10a – Relação entre Umidade e Índice de cone nos diferentes tratamentos aos 45 dias de pastejo, na profundidade de 0 a 3 cm.....	69
Gráfico 10b – Relação entre Umidade e Densidade do solo em diferentes tratamentos aos 45 dias de pastejo, na profundidade de 0 a 3 cm.....	69
Gráfico 11a – Relação entre Umidade e Índice de cone nos diferentes tratamentos aos 45 dias de pastejo, na profundidade de 6 a 9 cm.....	70
Gráfico 11b – Relação entre Umidade e Densidade do solo em diferentes tratamentos aos 45 dias de pastejo, na profundidade de 6 a 9 cm.....	70
Gráfico 12a – Relação entre Umidade e Índice de cone nos diferentes tratamentos aos 45 dias de pastejo, na profundidade de 12 a 15 cm.....	71
Gráfico 12b – Relação entre Umidade e Densidade do solo em diferentes tratamentos aos 45 dias de pastejo, na profundidade de 12 a 15 cm.....	71
Gráfico 13a – Relação entre Umidade e Índice de cone nos diferentes tratamentos na saída do gado (86 dias), na profundidade de 0 a 3 cm.....	72
Gráfico 13b – Relação entre Umidade e Densidade do solo em diferentes tratamentos na saída do gado (86 dias), na profundidade de 0 a 3 cm.....	72
Gráfico 14a – Relação entre Umidade e Índice de cone nos diferentes tratamentos na saída do gado (86 dias), na profundidade de 6 a 9 cm.....	73

Gráfico 14b – Relação entre Umidade e Densidade do solo em diferentes tratamentos na saída do gado (86 dias), na profundidade de 6 a 9 cm.....	73
Gráfico 15a – Relação entre Umidade e Índice de cone nos diferentes tratamentos na saída do gado (86 dias), na profundidade de 12 a 15 cm.....	74
Gráfico 15b – Relação entre Umidade e Densidade do solo em diferentes tratamentos na saída do gado (86 dias), na profundidade de 12 a 15 cm.....	74
Gráfico 16a – Variação entre tratamentos na relação entre Índice de cone e Umidade de 0 a 3 cm de profundidade aos 197 dias da cultura do milho.....	75
Gráfico 16b – Variação entre tratamentos na relação entre Densidade e Umidade de 0 a 3 cm de profundidade aos 197 dias da cultura do milho.....	75
Gráfico 17a – Variação entre tratamentos na relação entre Índice de cone e Umidade de 6 a 9 cm de profundidade aos 197 dias da cultura do milho.....	76
Gráfico 17b – Variação entre tratamentos na relação entre Densidade e Umidade de 6 a 9 cm de profundidade aos 197 dias da cultura do milho.....	76
Gráfico 18a – Variação entre tratamentos na relação entre Índice de cone e Umidade de 12 a 15 cm de profundidade aos 197 dias da cultura do milho.....	77
Gráfico 18b – Variação entre tratamentos na relação entre Densidade e Umidade de 12 a 15 cm de profundidade aos 197 dias da cultura do milho.....	77
Gráfico 19a – Variação entre tratamentos na relação entre Índice de cone e Umidade de 0 a 3 cm de profundidade aos 268 dias da cultura do milho.....	78
Gráfico 19b – Variação entre tratamentos na relação entre Densidade e Umidade do solo de 0 a 3 cm de profundidade aos 268 dias da cultura do Milho.....	78
Gráfico 20a – Variação entre tratamentos na relação entre Índice de cone e Umidade do solo de 6 a 9 cm de profundida de aos 268 dias da cultura do milho.....	79

Gráfico 20b – Variação entre tratamentos na relação entre Densidade e Umidade do solo de 6 a 9 cm de profundidade aos 268 dias da cultura do milho.....	79
Gráfico 21a – Variação entre tratamentos na relação entre Índice de cone e Umidade do solo de 12 a 15 cm de profundidade aos 268 dias da cultura do milho.....	80
Gráfico 21b – Variação entre tratamentos na relação entre Densidade e Umidade do solo de 12 a 15 cm de profundidade aos 268 dias da cultura do milho.....	80
Gráfico 22a – Curva de compactação do LB na profundidade de 0 a 3 cm, com energias E0, E1, E2, E3, onde IC é Índice de cone (kgf.cm^{-2}) e θ a Umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/100 \text{cm}^3$ de solo).....	81
Gráfico 22b – Curva de compactação do LB na profundidade de 0 a 3 cm, com energias E0, E1, E2, E3, onde Ds é a Densidade do solo (g.cm^{-3}) e θ a Umidade ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/100 \text{cm}^3$ de solo) de solo.....	81
Gráfico 23a – Curva de compactação do LB na profundidade de 6 a 9 cm, com energias E0, E1, E2, E3, onde IC é Índice de cone (kgf.cm^{-2}) e θ a Umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/100 \text{cm}^3$ de solo)	82
Gráfico 23b – Curva de compactação do LB na profundidade de 6 a 9 cm, com energias E0, E1, E2, E3, onde Ds é a Densidade do solo (g.cm^{-3}) e θ a Umidade ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/100 \text{cm}^3$ de solo) de solo.....	82
Gráfico 24a – Curva de compactação do LB na profundidade de 12 a 15 cm, com energias E0, E1, E2, E3, onde IC é Índice de cone (kgf.cm^{-2}) e θ a Umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/100 \text{cm}^3$ de solo) de solo.....	83
Gráfico 24b – Curva de compactação do LB na profundidade de 12 a 15 cm, com energias E0, E1, E2, E3, onde Ds é a Densidade do solo (g.cm^{-3}) e θ a Umidade ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/100 \text{cm}^3$ de solo) de solo.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de Índice de cone (kgf.cm^{-2}) sob diferentes níveis de compactação.....	26
Tabela 2 - Valores de Densidade do solo (g.cm^{-3}) sob diferentes níveis de compactação.....	27
Tabela 3 - Valores de Índice de cone (kgf.cm^{-2}) em diferentes níveis de oferta de forragem (%), para as profundidades de 0 -3, 6-9 e 12-15cm nas diferentes épocas de amostragem (dias).....	33
Tabela 4 - Valores de Densidade do solo (g.cm^{-3}) em diferentes níveis de oferta de forragem (%), para as profundidades de 0 -3, 6-9 e 12-15cm nas diferentes épocas de amostragem (dias).....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui da área experimental (Campo 12 - FAPA). Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda. Guarapuava - PR.....	17
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

RESUMO

Com o objetivo de determinar o reflexo do pisoteio de animais em pastejo nas propriedades físicas de um solo cultivado em sistema de plantio direto, diferentes níveis de oferta de forragem foram avaliados em Latossolo Bruno no sistema integrado Lavoura -Pecuária. O estudo foi desenvolvido na Cooperativa Agrária Mista de Entre Rios, Município de Guarapuava, Estado do Paraná, e constituiu-se na avaliação das seguintes variáveis: i) umidade volumétrica do solo (θ), ii) densidade do solo (D_s) e iii) resistência à penetração do solo através do índice de cone (IC). O modelo experimental foi implantado em uma área de pastagem com animais, a qual foi submetida ao método da lotação contínua, seguida do plantio de milho em sucessão ao pastejo e, posteriormente, dividida em três tratamentos de oferta de forragem (OF), quais sejam, 5, 10 e 15 Kg de matéria seca (MS) para cada 100 Kg de peso vivo (PV). Foram consideradas como subparcelas as profundidades 0 a 3cm, 6 a 9cm e 12 a 15cm, e como subsubparcelas as quatro épocas de amostragem: aos 45 e 86 dias de pastejo e aos 71 e 142 dias após a instalação da cultura do milho em sucessão à pastagem, totalizando 268 dias de experimento. Os dados obtidos foram agrupados em extratos crescentes de umidade e submetidos à análise de regressão linear, sendo, posteriormente, analisados estatisticamente pelo método do delineamento em parcelas subsubdivididas. Desses pôde-se concluir que a compactação foi superficial, não ultrapassando os primeiros 12cm de profundidade, elevando-se com o tempo de permanência dos animais na pastagem. Constatou-se que depois de sua retirada, houve regeneração da camada compactada pelo desenvolvimento radicular das forrageiras e das plantas de milho cultivadas em sucessão, sem comprometimento na produtividade da lavoura subsequente.

Palavras-chave: compactação, densidade do solo, índice de cone, oferta de forragem, métodos de pastejo.

ABSTRACT

With the objective to determine the consequence of grazing animals throdging upon the physical properties of a soil cultivated by no tillage system, different levels of herbage allowance systems were evaluated in a Brown Latossol in the integrated system of plants and animal farming.. The study was conducty at the Cooperativa Agrária Mista de Entre Rios, in the city of Guarapuava, Estate of Paraná, and comprised of the evaluation of the following: i) moisture of the soil per volume (θ), ii) soil bulk density (Ds) and iii) soil penetration resistance through cone index (CI). The experimental modelling was developed in na area of grazing which was subsequently subject to continuous stocking followed by the plantation of corn, and splitted into three diferent herbage allowance; namely, 5, 10 and 15 kg of dry matter (DM) / 100 kg-of live weight (LW). Depths ranging from 0 to 3cm, 6 to 9cm and 12 to 15cm were considered as split-plot and as split-split-plot the four different periods of the sumpling; namely, on the 45th and 86th day of the grazing and on 71st and 142nd after the corn planting was done. The whole experiment totalized 268 days. Data obtained were classified according to their respective moisture index and submitted both to the linear regression analysis and to the split plot randomized complete block design. It was concluded that a compaction was superficial, not surpassing the 1st 12cm of depth, although increasing with the grazing period. It was also concluded that after the completion of the grazing period the compaction of the soil was regenerated by means of both the development of the root system of the forage as well as of the corn crop, without compromising productivity of the latter.

Key-words: compaction, bulk density, cone index, herbage allowance, grazing methods.

1 INTRODUÇÃO

Com o advento do plantio direto no Estado do Paraná constatou-se considerável recuperação de áreas degradadas pela ação erosiva das chuvas, resgatando-se o potencial produtivo do solo. Como opção de atividade em sistemas agrícolas, utiliza-se freqüentemente a cobertura dos solos no inverno, assumindo assim, as pastagens, papel fundamental neste processo, caracterizando o chamado Sistema Integração Lavoura-Pecuária.

Através da pecuária de corte integrada com sistemas agrícolas intensifica-se o uso da terra, conferindo-se maior estabilidade na remuneração do produtor rural, uma vez que possibilita a terminação e comercialização de animais durante a entressafra. Para MORAES et al. (1995), esta é uma realidade presente no sul do Brasil e que vem se expandindo ao longo dos últimos anos por todas as regiões agrícolas dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

Diversos estudos vêm demonstrando a eficiente capacidade de cobertura e regeneração que as gramíneas e leguminosas forrageiras promovem no solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e elevando sua resistência contra a erosão.

As experiências mais próximas ao ecossistema do sul do Brasil na utilização Lavoura-Pecuária, demonstrando impactos positivos no ambiente com a utilização deste sistema, são oriundas da Austrália, da Nova Zelândia e Uruguai. Do ponto de vista das propriedades físicas do solo, assim como ocorre no sistema plantio direto, o uso de forrageiras na integração com a lavoura traz melhoria na retenção de água e aumento da permeabilidade do solo, decorrente principalmente dos efeitos das raízes das forrageiras e do acúmulo de matéria orgânica, além da capacidade diferenciada de absorção de nutrientes.

Por outro lado, cumpre salientar que especial atenção deve ser dispensada às alterações nas propriedades físicas do solo, no que tange à possibilidade de degradação decorrente do pisoteio através de um manejo incorreto do solo e dos animais.

Uma das dificuldades de se associar produção agrícola com atividade pecuária em uma mesma área, é a existência da crença que o uso de animais

cause compactação ou outras alterações no solo capazes de comprometer o rendimento das culturas em sucessão à pastagem.

Este experimento teve como objetivos avaliar alguns parâmetros físicos do solo sob efeito da entrada de animais em área de lavoura em sistema plantio direto; avaliar estes parâmetros em três níveis de oferta de forragem, em três profundidades do solo e em duas épocas distintas: durante o pastoreio de inverno e na cultura de verão subsequente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMPACTAÇÃO DO SOLO

2.1.1 Conceitos

A compactação do solo é definida como o processo que causa alteração no volume do solo pela aplicação momentânea de uma carga (BRADFORD & GUPTA, 1986). A compressão do solo, que é a redução no seu volume causada por uma carga externa, ocorre primariamente devido à exclusão de ar ou água dos espaços porosos e ao rearranjo das partículas do solo, e, secundariamente, devido à compressão e deformação das partículas do solo e compressão do ar e água nos poros (ROLOFF, 1986).

BAVER et al. (1973) definem compactação como um aumento de densidade de um solo como resultado de carga ou pressões aplicadas. Ou seja, é o comportamento dinâmico pelo qual o estado de compactação aumenta. Estes, definem ainda compactação como sendo a redução de volume aparente (razão de vazios) em um solo, causado por trabalho mecânico.

A razão de vazios diminui quando a umidade aumenta para uma mesma carga aplicada.

A compactação tem duas etapas de formação. A primeira é a destruição e ruptura das unidades estruturais em fragmentos menores e, na segunda, os fragmentos são retidos fortemente dentro dos vazios existentes, ocorrendo uma redução do volume (TRAHOUSE, 1979).

A facilidade com que um solo pode ter seu volume reduzido através da ação de uma carga define sua compressibilidade (BRADFORD & GUPTA, 1986). Segundo estes autores, a densidade máxima com que um solo pode ser compactado é determinado pela sua compactabilidade.

2.1.2 Processos de compactação do solo

As forças que causam a compactação do solo originam-se de duas fontes: natural e mecânica. As forças naturais são difíceis de avaliar e definir, agindo no solo lentamente. CAMARGO (1983) afirma que os fatores naturais ou genéticos são derivados dos processos de evolução do solo. São materiais muito finos, que ao serem arrastados da superfície preenchem parte dos poros

das camadas inferiores. Os processos de secagem e umedecimento, em certas posições do relevo, também podem causar compactação a maiores profundidades, convencionalmente denominadas de adensamento, portanto, é uma mudança estrutural associada também à consistência do solo.

As forças mecânicas originam-se, segundo BELTRAME et al. (1981), da pressão causada pelas máquinas e implementos sobre o solo. Por sua vez, a pressão é resultado das forças de tração, do próprio peso do trator e dos implementos.

A resistência do solo às pressões aplicadas está diretamente relacionada com o teor de matéria orgânica do mesmo. Apesar das diferentes causas e fatores, a umidade do solo, no momento da aplicação das forças, é fator determinante neste processo.

O teor de umidade intervém modificando a coesão entre as partículas, que é maior no solo seco e decresce à medida que o teor de água aumenta, provocando separação das partículas.

Quando o solo é compactado, ocorre diminuição da macroporosidade, o que afeta o desenvolvimento das plantas por imprimir ao solo condições de baixa aeração, já que macroporosidades abaixo de 10% afetam a transferência de oxigênio para as raízes. Ainda de acordo com BELTRAME et al. (1981), 10% seria o limite inferior em que ocorria troca de gases entre o solo e a atmosfera, acarretando mal suprimento de oxigênio que associado à maior resistência à penetração causaria redução do sistema radical, refletindo-se em maior sensibilidade das plantas às pequenas estiagens, além do mal aproveitamento dos fertilizantes.

2.1.3 Determinação da compactação

2.1.3.1 Densidade do solo

É difícil medir com precisão o estado de compactação de um solo. A medida da estrutura e compactação mais usada é a massa específica (massa de solo seco por unidade de volume), geralmente expressa em gramas de solo por centímetro cúbico. Também chamada de densidade global, a massa específica do solo está inversamente relacionada com a porcentagem de poros por unidade de volume de solo. Quanto maior for a densidade, menor a porcentagem de poros e, portanto, mais compacto é o solo. A mudança na

densidade e resistência do solo é decorrente do seu conteúdo de umidade. Os solos úmidos, quando submetidos a uma carga, compactam mais facilmente que os secos. Os solos de mesma densidade tem menor resistência quando seu conteúdo de umidade é alto, em relação ao mesmo solo com menos umidade. A resistência do solo também aumenta à medida que a compactação aumenta, seja qual for o conteúdo de umidade (BOWEN & KRATKY, 1985).

BAVER et al. (1973) explicam a influência da umidade na densidade do solo através de uma curva de densidade, energia e umidade do solo. Neste processo ocorre a formação de uma dupla camada difusa associada à orientação das partículas primárias. No ramo seco da curva, como não há água suficiente para formar uma dupla camada, a densidade é menor porque o solo está floculado e as partículas estão distribuídas ao acaso. No ramo úmido, a dupla camada se expande, as películas de água tornam-se mais grossas e começam a produzir lubrificação entre as partículas, as quais se orientam de modo a deslizarem umas sobre as outras, formando uma massa mais densa até o conteúdo ótimo (ponto de máxima compactação). A partir daí, prossegue o aumento da espessura da película de água e a densidade diminui, em função do efeito diluidor da água sobre a concentração das partículas por unidade de volume (ramo molhado da curva).

2.1.3.2 Penetrometria

A penetrometria é o método mais conveniente para quantificar a resistência do solo, embora superestime a resistência para o crescimento radicular (PERUMPRAL, 1987). Apesar de suas limitações, o penetrômetro é um instrumento de grande utilidade na avaliação de sistemas de preparo do solo.

Os penetrômetros de cone têm sido amplamente utilizados, apesar das diferenças óbvias existentes entre a raiz e um cone metálico (BARLEY & GREACEN, 1967). O espaço poroso pelo qual as raízes podem crescer não possuem geometria definida, e a raiz pode exercer uma força sobre a matriz do solo com objetivo de rearranjar o espaço poroso. Por isso, alguns pesquisadores têm sugerido o uso de penetrômetros com diâmetros de extremidade o mais próximo possível daqueles das raízes. Por exemplo, GROENEVELT et al. (1984) utilizaram uma combinação da geometria dos

poros do solo e da resistência à penetração, obtida com um micropenetrômetro, para explicar a interação entre as condições do solo e o crescimento radical.

A resistência à penetração é expressa através da relação entre a força exercida para fazer penetrar um cone metálico no solo e sua área basal, comumente denominada índice de cone (IC) (BRADFORD, 1986). Alguns pesquisadores consideram que o IC não é apropriado para pesquisa em campo em função dos penetrômetros possuírem diâmetros maiores que os das raízes, por penetrarem no solo mais rapidamente que as mesmas e serem incapazes de desviar as partículas e agregados adensados do solo.

A elongação das raízes varia inversamente com a resistência à penetração. Os penetrômetros avaliam uma resistência cerca de duas a oito vezes maior que a encontrada pelas raízes (MISRA et al, 1986), e a resistência medida sempre excede a pressão máxima que as raízes podem efetivamente exercer.

Estudos em sistemas artificiais mostram que a elongação das raízes foi limitada quando as pressões aplicadas eram menores que 0,01 Mpa (Mega Pascal) (GROSS, 1977; BARLEY, 1963). EAVIS (1967), citado por BENGHOUGH & MULLINS, (1990), demonstrou a ocorrência de uma redução de 70% na taxa de elongação das raízes a aproximadamente 0,34 MPa. DEXTER (1986), considerou limitante para o crescimento das raízes uma resistência ao penetrômetro entre 0,8 e 5,0 MPa crescimento de raízes no solo. Estes resultados mostram a dificuldade de se relacionar índices de resistência à penetração medidas por penetrometria com o potencial radical de cada cultura. A resistência ou impedância mecânica tem mostrado ser mais eficiente que a densidade total do solo na comparação de diferentes tratamentos de preparo do mesmo (CASSEL et al., 1978; PEARSON, 1981). A densidade do solo varia desde valores inferiores a $1,0 \text{ g/cm}^3$ até valores maiores que $1,7 \text{ g/cm}^3$, com pequenas amplitudes de variação (CASSEL & BAVER, 1975), enquanto que o IC varia de 0 até 9,0 MPa ou de 0 a 90 kg/cm^2 , indicando a maior sensibilidade das medidas por penetrometria aos efeitos da compactação (CASSEL, 1982).

A densidade do solo é mais sensível ao volume total de poros e relativamente não sensível aos planos de fraqueza que podem ser criados por

ciclos de secagem e umedecimento, alterando o grau de compactação do solo (VOORHEES, 1983). Enquanto BAUDER et al. (1981) salientam que a resistência à penetração e a densidade do solo são parâmetros importantes na medição da compactação, TAYLOR & GARDNER (1963) e TAYLOR & BURNETT (1964), afirmam que a resistência do solo medida por penetrometria é melhor associada ao ambiente radical que a densidade do solo, de modo que aquela pode ser considerada como uma das principais medidas na avaliação da compactação, já que controla a penetração de raízes no solo. As raízes podem crescer ao redor dos agregados adensados, ao passo que os penetrômetros penetram estes agregados, superestimando a resistência às raízes. TAYLOR & GARDNER (1963), sugerem que a causa da penetração das raízes no solo é resultante de um balanço de forças entre a zona de divisão celular e o solo próximo, diferindo do mecanismo de penetração dos cones metálicos.

O índice de cone tem relação direta com a densidade e inversa com o conteúdo de água do solo (EAVIS, 1972; CAMPBELL, 1974; BLACKWELL, 1986; VEPRASKAS & MINNER, 1986; NESMIT, 1987). A dependência das medidas de IC em relação ao conteúdo de água aumenta proporcionalmente com a elevação nos valores de densidade do solo (VOORHEES, 1983). Isto porque, com o aumento da densidade, há um aumento proporcional na resistência ao cisalhamento do solo devido à maior fricção entre as partículas. Assim quando o conteúdo de água diminui, a coesão aumenta e o efeito lubrificante da água reduz (CASSEL et al. 1978). Outros fatores também afetam o IC, tais como: textura, conteúdo de matéria orgânica (BRADFORD, 1986) e a rugosidade superficial das partículas (CRUSE et al., 1986). A dependência do IC em relação à umidade dificulta a operacionalização das amostragens e, de forma ideal, as amostragens deveriam ser feitas próximo à capacidade de campo (CASSEL, 1982). Para uma interpretação adequada dos dados de IC há necessidade de que, simultaneamente à penetrometria, sejam determinados os valores de umidade e densidade do solo.

2.1.4 Causas e efeitos da compactação

2.1.4.1 Influência do pisoteio

Com a remoção da cobertura vegetal natural e a implantação de pastagens tem ocorrido uma série de alterações nas propriedades químicas e físicas dos solos. Da mesma forma, o intenso pisoteio por animais, especialmente por bovinos e ovinos em campo nativo, pode alterar as propriedades físico-hídricas da superfície do solo (GRADWELL, 1966). Aumentam a densidade e a suscetibilidade à desagregação, reduzindo a porosidade total e a taxa de infiltração de água no solo. Como a ação dos cascos dos animais elimina a cobertura superficial do solo, principalmente nas trilhas de caminamento, aparecem nessas áreas sulcos de erosão que normalmente progridem para voçorocas, acelerando o processo erosivo. BERTOL & SANTOS (1995), trabalhando em Cambissolo húmico distrófico sob pastagem implantada sob o sistema de plantio convencional, observaram uma sensível redução na taxa de infiltração de água no solo, em relação à mata nativa utilizada como testemunha. Isto provavelmente ocorreu pela obstrução dos macroporos do solo, causada pela ação da água ao infiltrar-se, conduzindo as partículas de solo desagregadas para dentro dos poros e promovendo selamento superficial. Observa-se que este tratamento estava sob pisoteio de bovinos, o que provavelmente promoveu desagregação mecânica pela ação dos cascos dos animais sobre o solo.

A ação destrutiva do pisoteio sobre a estrutura do solo pode ser vislumbrada por meio da comparação entre os métodos de pastejo contínuo e rotacionado em função da umidade do solo. A elevada carga animal instantânea advinda do pastejo rotacionado frente à altos valores de umidade, além da destruição do componente vegetal, promove intenso revolvimento da superfície do solo e conseqüente compactação do mesmo. Por outro lado, o método de pastejo contínuo induz a uma carga animal diluída na área com menores reflexos sobre a compactação do solo.

ROMERO (1976), comparando o método de pastejo em faixas com o sistema rotacionado, observou variações no sistema poroso de uma Terra Roxa Estruturada submetida a intenso pisoteio animal. O autor verificou que a compactação causada pelos animais não excedeu a 7,5 cm de profundidade, e

que com o período de descanso da pastagem, de aproximadamente 45 dias, ocorreu regeneração da camada compactada. Atribui-se este efeito regenerativo à agressividade (grande extensão, distribuição e atividade) radical das gramíneas forrageiras, que assim conseguem explorar com eficiência os baixos teores de nutrientes no solo.

BASSANI et al., (1995), comparando o plantio direto e convencional para plantio de milho após pastejo de inverno, em Santa Maria (RS), concluíram que a mobilização do solo, com o objetivo de atenuar os efeitos prejudiciais da compactação, não demonstrou ganho de produtividade, indicando que o nível de compactação trazido pelo pisoteio não foi limitante ao crescimento e desenvolvimento do milho.

TANNER & MAMARIL, (1959) verificaram que o tráfego animal causava sérios problemas de compactação nos solos de textura fina, diminuindo o espaço poroso e a aeração, aumentando a densidade do solo e ocasionando uma redução na produtividade das pastagens.

Por outro lado, VICENZI (1986) salienta a boa cobertura do solo que as pastagens exercem, impedindo o impacto direto das gotas de chuva, evitando a desestruturação e escoamento superficial do solo, aumentando a taxa de infiltração e atenuando, assim, o fenômeno da erosão. Segundo o mesmo autor, a maior parte destes benefícios são decorrentes do aumento do teor de matéria orgânica no solo.

Em condições de áreas degradadas ao se implantar uma pastagem, o teor de matéria orgânica do solo se eleva consideravelmente com o tempo até sua estabilização. Entretanto, quando se cultiva a mesma área ou se submete uma área de pastagem a cultivo contínuo com lavouras anuais, o teor original de matéria orgânica no solo decresce com o tempo (SKERMAN, 1977; DIAZ et al., 1980; MARUN & MELLA, 1994).

Segundo KLAPP (1971), outro efeito benéfico das pastagens é o de promover maior atividade biológica no solo, elevando a população de minhocas, insetos e suas larvas.

DINDAL et al. (1992) observaram, trabalhando com pastoreio de bovinos e ovinos, que os solos sob as áreas rejeitadas pelos animais, em decorrência das placas de esterco, apresentam taxas de respiração (produção de CO₂) muitas vezes superiores às aquelas onde o pastejo é ativo. Além disto, nestas

áreas, os níveis de dióxido de carbono advindos da respiração microbiana foram inversamente relacionados com as estimativas de compactação do solo por penetrômetro de cone.

MARUN (1985) salienta que o cultivo de pastagens torna melhor as propriedades físicas do Latossolo vermelho-escuro, textura arenosa, derivado do arenito Caiuá, em relação às do solo com culturas anuais, em decorrência da elevação dos teores de matéria orgânica, da diminuição da densidade, e do aumento da atividade biológica no solo. Os teores de matéria orgânica estão intimamente relacionados à atividade biológica no solo. WATERS (1955) estimou em sete a doze milhões de minhocas por hectare em áreas de pastagens na Nova Zelândia. Os efeitos benéficos de sua presença nas propriedades físicas do solo são incontestáveis. HOPP (1946) constatou que a presença destes anelídeos pode elevar em até oito vezes a taxa de infiltração, reduzindo o escoamento superficial e, conseqüentemente, atenuando a ação da erosão.

2.1.4.2 Influência no crescimento das plantas

A produtividade do solo não depende somente da quantidade suficiente de nutrientes, mas também de um sistema poroso adequado nas camadas onde se desenvolvem as raízes das plantas. Entretanto, a alteração do sistema poroso, através da compactação, poderá alterar a permeabilidade, a drenagem, a retenção de água, a alteração na concentração de CO₂ na zona radical, a resistência do solo à penetração de raízes e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes para as plantas (CORREA & REICHARDT, 1989). Estes autores encontraram, em um Latossolo Amarelo muito argiloso da Amazônia Central utilizado com pastagem de *Brachiaria humidicola* e submetida a uma carga animal de um bovino por hectare (450 kg de PV/ ha), na camada de 0-10cm de profundidade, uma tendência de aumento na densidade do solo no decorrer dos anos de utilização desta pastagem. Desta forma, considerando a resistência do solo à penetração das raízes como um dos fatores responsáveis pelo desenvolvimento das plantas, estes autores observaram que nessa mesma camada o solo sob pastagem apresentou resistências à penetração significativamente superiores à testemunha sob

floresta, havendo uma tendência em aumentar essa resistência com o aumento do tempo de utilização da pastagem.

TAYLOR & GARDNER (1963) observaram que em solos com uma mesma densidade global, a penetração das raízes diminuía com a redução do teor de água. Concluíram que essa redução aumentava a resistência do solo à penetração, fazendo com que as raízes em expansão experimentassem um impedimento mecânico cada vez maior.

TAYLOR & BURNETT (1964) também observaram que as raízes de várias espécies de plantas não penetravam no solo argilo-arenoso, na capacidade de campo, quando a resistência do solo à penetração era entre $13,3 \text{ Kgf.cm}^{-2}$ e $13,6 \text{ Kgf.cm}^{-2}$.

No método de pastejo contínuo, se o manejo da pastagem for inadequado, observa-se que quanto maior o tempo de utilização da pastagem, menor o teor de umidade do solo e, conseqüentemente, maior a resistência do solo à penetração das raízes. Nestas áreas, pelo fato do solo apresentar maior compactação, parte da água da chuva é perdida por escoamento superficial e, dada a pequena cobertura do solo, há uma tendência em elevar as perdas de água por evaporação. Assim, a pastagem entra em processo de degradação, embora a compactação do solo diminua pela redução dos teores de umidade do mesmo. Conforme verificaram HEMSATH & MAZURATH (1974) por meio de penetrômetro, a resistência do solo à sua penetração aumentava com a diminuição da umidade. Isto evidencia que não se pode avaliar o estado de compactação de um solo apenas pelo uso deste aparelho, pois um solo seco pode apresentar grande resistência e, no entanto, não estar compactado.

LUGO-LOPEZ (1960) verificou que o efeito combinado de altas densidades e maior volume de poros pequenos, aparentemente reduziu a penetração das raízes do capim angola (*Brachiaria mutica*) e bermuda (*Cynodon dactylon*), ao passo que as raízes de colônio (*Panicum maximum*) penetraram através de horizontes densos onde predominavam poros pequenos.

O efeito isolado dos fatores considerados limitantes no crescimento das plantas (impedimento físico à penetração das raízes, baixa taxa de difusão do oxigênio, alterações no fluxo de água com modificações no teor de água

disponível e na disponibilidade de nutrientes) é de difícil avaliação devido à interação entre eles.

Dada a forte interação existente entre as diferentes variáveis que compõem o problema da compactação, conclui-se que tais problemas devem ser estudados para cada situação em particular, já que diferentes solos terão diferentes fatores como limitantes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na gleba denominada campo 12, pertencente a Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) da cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda., colônia Vitória, distrito de Entre Rios no município de Guarapuava, Estado do Paraná. A área experimental está localizada na região fisiográfica denominada Terceiro Planalto Paranaense (latitude 25°33'S , longitude 51°29'W, altitude 1095m).

3.2 CLIMA E SOLO

O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb (MAAK, 1968), tendo a temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C, com verões frescos, sendo que a média do mês mais quente fica abaixo de 22°C. Não apresenta estação seca definida e há ocorrência de geadas severas e freqüentes. A precipitação anual varia de 1400 a 1800mm e os meses de abril e maio são os mais secos.

O solo onde se desenvolveu o experimento é classificado, segundo EMBRAPA (1984), como uma associação de Latossolo Bruno Álico relevo suave ondulado com Cambissolo Álico Tb relevo ondulado de vertentes curtas, substrato rochas do derrame de Trapp, ambos com A proeminente, textura argilosa, fase campo subtropical. Os solos desta associação encontram-se distribuídos em proporções iguais na paisagem. O experimento se encontra no primeiro componente, que ocorre nas partes mais suaves do relevo (0 a 8%), enquanto que o segundo aparece nos locais de topografia mais movimentada, ambos, originalmente, são extremamente álicos e apresentam boas propriedades físicas (EMBRAPA, 1984). Com vários anos de cultivos e das práticas de calagem e adubação, tornaram-se epieutróficos (V% acima de 50%) porém, nas áreas de maior declividade o horizonte superficial encontra-se bastante desgastado, resultado de alguns anos de plantio convencional.

3.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Com o objetivo de determinar a energia de compactação provocada pelo pisoteio de um animal foram obtidas, em parcela livre da presença de animais, curvas de compactação do solo através da aplicação de cargas (energias) previamente estabelecidas. Estas energias foram transmitidas ao solo por meio de um aparelho compactador de solo descrito a seguir.

3.3.1 Compactador

O aparelho (ver anexo I) foi construído especialmente para a realização de experimentos no campo, conforme metodologia empregada por ADUR, (1990). Para tanto, baseou-se no aparelho PROCTOR, utilizado para compactação de amostras em laboratório, sendo necessário fazer algumas alterações na equação de cálculo da energia aplicada (foi considerado a superfície e não o volume compactado).

Basicamente o aparelho é constituído de uma haste de 70cm de altura e 1,5cm de diâmetro, fixado numa base de 10cm de diâmetro e 2cm de espessura. Acoplado a haste está um soquete com 9,03 kg de massa, com 15cm de altura e 10cm de diâmetro, perfurado no centro para que possa ser movimentado livremente guiado pela haste. O aparelho dispõe ainda de uma guia reguladora de altura.

Para efeito de cálculo da energia produzida por golpe, utilizou-se a seguinte fórmula adaptada de PROCTOR:

$$E = (P \times a \times g / S) \times N$$

Sendo: E = Energia aplicada (Joule/cm²)

P = Massa do soquete (9,03 kg)

a = Altura de queda do soquete (0,435 m)

S = Superfície de impacto (78,5 cm²)

N = Número de golpes

g = Aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

Com esta fórmula determinou-se a energia aplicada por golpe que foi de 38,53 Joules ou 0,49 J/cm² (Quadro 1).

QUADRO 1 - Energias aplicadas nos ensaios de compactação

Energias (E)	Peso do Soquete (kg)	Altura de Queda (m)	Números de Golpes	Energia por Golpe (J/cm ²)	Energia Total (J/cm ²)
E0	0	0	0	0	0
E1	9,03	0,435	10	0,490	4,90
E2	9,03	0,435	20	0,490	9,80
E3	9,03	0,435	30	0,490	14,70

3.3.2 Coletor de amostras

Para a coleta de amostras de solo com o anel volumétrico, a fim de determinar a umidade e a densidade do solo, utilizou-se um equipamento coletor de amostras indeformadas descrito a seguir.

Conforme ADUR, (1990), para garantir uma coleta que sofresse o mínimo de interferências possíveis do coletor, construiu-se um aparelho adaptado ao tamanho dos anéis volumétricos.

Ele é composto de uma sapata, utilizada para acondicionar o anel coletor no centro do local compactado. O anel é encaixado dentro do cano guia fixado na sapata, e em seguida é pressionado por um cano de diâmetro idêntico ao do anel, até sua introdução total no solo.

O anel coletor foi construído de cobre com as seguintes dimensões:

- Diâmetro = 3,6 cm
- Altura = 2,5 cm
- Espessura = 0,2 cm
- Volume = 25,43 cm³

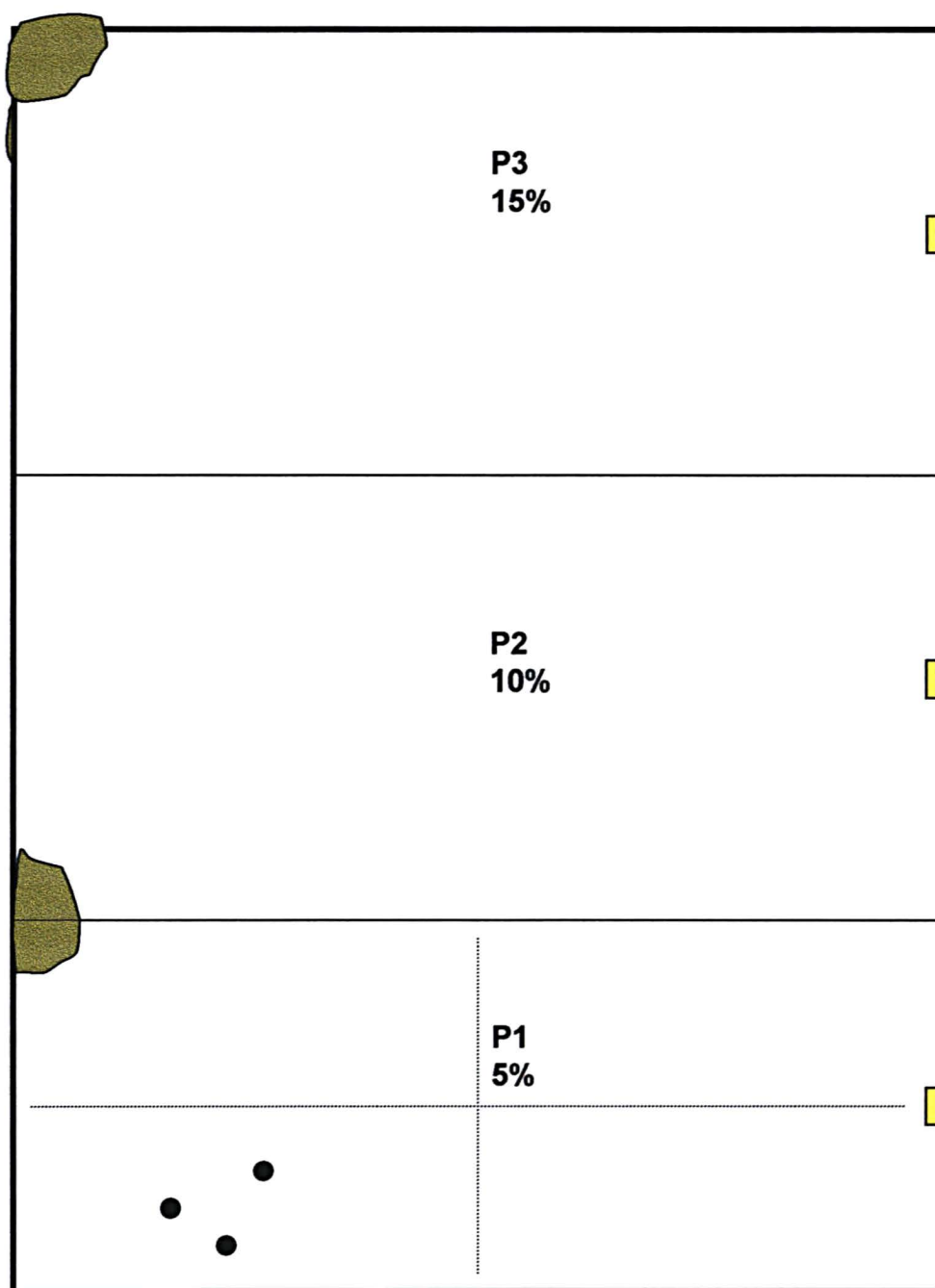
3.3.3 Penetrômetro

Para determinação do Índice de cone (IC) que mede a resistência à penetração, foi utilizado o penetrômetro da SOLOTEST, Ref. S-210 (ver descrição do aparelho no Anexo II).

3.4 ÁREA EXPERIMENTAL

A área total do experimento, conforme a Figura 1, soma 3,0 ha e constituída de 3 piquetes (parcelas), sendo o piquete P1 de 0,8 ha, P2 de 1,0 ha e P3 de 1,2 ha. Os mesmos foram divididos com cerca eletrificada com dois fios de arame liso e abastecidos com água e sal mineral à vontade. As pesagens e tratamentos sanitários foram realizados no centro de manejo próximo à área experimental.

FIGURA 1 - Croqui da área experimental (Campo 12 - FAPA).
Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda. Guarapuava - PR



- Locais de amostragem representados em apenas um quadrante
- Cercas eletrificadas
- - - Linhas imaginárias de divisão interna dos piquetes em quadrantes
- Cochos de sal
- Área de concentração dos animais com bebedouros

P1, P2 e P3 Piquetes 1, 2 e 3
5%, 10% e 15% Níveis de oferta de forragem

3.5 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

A análise estatística foi realizada pelo método do Delineamento em parcelas subsubdivididas, das variáveis umidade (θ), Densidade do solo (D_s) e Índice de cone (IC). Foram feitas também as análises dos resultados pelo teste Tukey para níveis de significância de 5% e 1% de probabilidade.

O croqui da distribuição das parcelas com os respectivos tratamentos e locais de amostragem do solo está apresentado na Figura 4.

O modelo experimental escolhido se constitui na subdivisão visual de cada piquete em 4 quadrantes, onde de cada um foram determinados três pontos amostrais, e de cada ponto, retiradas amostras em três profundidades distintas, totalizando 36 amostras por piquete (12 pontos amostrais por parcela e três profundidades em cada ponto amostral).

Os tratamentos estudados foram definidos em 3 níveis de oferta de forragem: 5 kg de matéria seca (MS) para cada 100 kg de peso vivo (PV), 10kg MS/100 kg PV e 15kg MS/100kg de PV. Estes valores representam a oferta diária de matéria seca em função do peso dos animais.

Desta forma, os piquetes um (P1), piquete dois (P2), e piquete três (P3) correspondem às ofertas de forragem de 5%, 10% e 15% de peso vivo (PV), respectivamente.

Cada profundidade estudada (0 a 3 cm, 6 a 9 cm e de 12 a 15 cm) constitui uma subparcela para avaliação da distribuição da camada compactada ao longo do perfil preestabelecido.

As sub-sub parcelas foram caracterizadas ao longo do tempo, num total aproximado de 268 dias, com quatro épocas de amostragem distintas. A época 1 (27/08/96) corresponde à primeira avaliação realizada aos 45 dias após o início do pastejo na área experimental. A época 2 (07/10/96) corresponde aos 86 dias após a entrada dos animais, momento em que foram retirados do experimento. A época 3 (17/01/97) corresponde aos 71 dias após a semeadura da lavoura de milho, e a época 4 (20/03/97) corresponde à amostragem realizada após a colheita do milho para silagem aos 142 dias após a semeadura.

As análises físicas determinadas em laboratório foram a Densidade do solo, medida em g.cm^{-3} e a Umidade gravimétrica, que em seguida convertida para Umidade volumétrica ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$), e no campo determinou-se o Índice de cone, leitura em milímetros, com posterior transformação para kgf.cm^{-2} , de cada profundidade estudada, utilizando-se o valor médio das três leituras obtidas por profundidade.

Os parâmetros relacionados foram submetidos à análise de regressão linear simples, com posterior agrupamento em estratos crescentes de 1% de umidade.

A umidade do solo foi padronizada para 40% e 50% com base no volume para melhor estudar o comportamento das variáveis em questão.

Foram calculadas as equações de regressão que representam as relações entre as propriedades físicas e foram utilizadas para detectar a tendência de cada variável analisada ao longo do tempo.

Posteriormente foram realizados estudos das correlações entre as variáveis e os dados originais foram submetidos à análise de variância em parcelas sub-sub divididas "split-plot", e ao teste de Tukey para comparação de médias.

As amostragens foram realizadas sempre nas áreas de pastejo, ou seja, fora dos locais de concentração dos animais, tais como ao redor dos cochos de sal, bebedouros e proximidade de cercas. Evitou-se também a proximidade de placas de esterco distribuídas na pastagem. Estes locais de concentração, apesar de representarem uma pequena parte da área de pastejo, poderiam conduzir a resultados discrepantes.

3.6 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A área experimental vem sendo utilizada no sistema de plantio direto por mais de 10 anos, tendo sido cultivados o milho ou soja no verão e no inverno utiliza-se rotação com diversos cereais de inverno, tais como cevada, centeio, aveia branca, aveia preta, triticales (*Xtriticoseale*) e nabo forrageiro (*Raphanus* sp.).

A pastagem hiberna, implantada em ano anterior ao experimento objeto deste trabalho, era composta pelas seguintes espécies: centeio (*Secale cereale*) cv. BR 1 e aveia branca (*Avena sativa*) cv. FAPA 1, semeados diretamente sobre os resíduos da cultura anterior, e azevém (*Lolium multiflorum*) que se estabeleceu por ressemeadura natural. Após a retirada dos animais da pastagem, as forrageiras cresceram livremente até serem dessecadas para o plantio da safra de soja 1995/96.

3.6.1 Condução do experimento

Após a colheita da soja (04/05/96) foram aplicados, a lancha, 3 toneladas de calcário calcítico/ha, sendo semeadas diretamente sobre a palhada da soja, as leguminosas forrageiras trevo branco (*Trifolium repens*) utilizando-se 2kg de sementes/ha, trevo vermelho (*Trifolium pratense*) utilizando-se 6kg de sementes/ha e as gramíneas forrageiras aveia branca (*Avena sativa*) cv. FAPA 1 utilizando-se 70kg de sementes/ha e azevém (*Lolium multiflorum*) utilizando-se 20kg de sementes/ha, todas com espaçamento de 17 cm entre linhas. Esta pastagem recebeu 250kg de adubo formulado 5-25-25 + 1% Zn e a aplicação de 130 kg/ha de uréia 40 dias após a emergência. O início do pastejo foi em 12/07/96, quando havia uma massa de forragem média de 1548 kg de MS/ha, tendo sido os animais distribuídos nos piquetes em função da quantidade de peso vivo necessária para manter a oferta desejada. Após 45 dias do início do período de pastejo iniciou-se a primeira amostragem (27/08/96) para a determinação da compactação sob as diferentes pressões de pastejo.

O período de pastejo estendeu-se até 07/10/1996, quando foi realizada a pesagem final dos animais.

Procedeu-se nova amostragem do solo imediatamente após a saída dos animais. Foi aplicado em 08/11/96 o herbicida Roundup® (Glyphosate 360 g/L i.a.) na dosagem de 1,2 L/ha para dessecar as gramíneas e provocar um estresse nas leguminosas com a finalidade de que estas paralisassem o seu crescimento e não competissem com o milho nos seus estágios iniciais. A semeadura do milho foi realizada em 17/11/96, sendo a cultivar utilizada a XL 210, semeada diretamente sobre a pastagem 09 dias após a aplicação do herbicida. Foi utilizado o espaçamento de 80cm entre linhas e 400 kg de adubo fórmula 5-25-25 (N, P e K) + 1% Zn. Foi aplicado o herbicida Sanson®

(Nicosulfuron 40 g/L i.a.) na dosagem de 1 L/ha em pós-emergência para o controle de plantas daninhas. Realizou-se a primeira adubação nitrogenada em 03/12/96 e a segunda em 30/12/96; em ambas utilizou-se 120 kg/ha de uréia. A primeira amostragem na cultura do milho foi realizada (17/01/97), 71 dias após a germinação, e a segunda 20/03/97. O milho foi colhido para silagem deixando-se as plantas completarem seu ciclo, com a finalidade de se estimar a produção de grãos. Desta forma, foi colhida uma área útil de 16 m² (4 linhas por 5 metros lineares), manualmente, sendo que as espigas colhidas foram debulhadas, determinando peso e umidade dos grãos. Os valores das produções encontradas foram corrigidos para 13% de umidade.

3.6.2 Coletas e análises físicas

As amostras de solo foram coletadas nas três parcelas piquetes P1, P2 e P3, conforme o croqui da figura 4, por meio de anéis de metal de 25,43 cm³, cravados no solo com auxílio do aparelho coletor apresentado na Figura 2. Em seguida, as amostras foram vedadas para transporte até o laboratório. Os valores de Índice de cone foram obtidos no campo juntamente com a coleta das amostras para laboratório. Ao todo foram coletadas 432 amostras, isto é, 36 por tratamento e em 4 épocas de amostragem.

3.6.3 Métodos Analíticos

As análises físicas foram encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná.

3.6.3.1 Determinação da Umidade gravimétrica (U%)

Após a coleta e antes de serem submetidas a secagem em estufas à 105° C, as amostras foram pesadas para determinação do peso da amostra úmida. Após 24 horas na estufa foram pesadas novamente para determinação do peso da amostra seca. Em seguida calculou-se a umidade gravimétrica de cada amostra através dos seguintes cálculos:

Umidade Gravimétrica (U%) = $\frac{\text{Massa solo úmido} - \text{Massa solo seco}}{\text{Massa solo seco}}$

Em seguida os valores foram transformados para umidade com base no volume de solo (θ), através da multiplicação da umidade gravimétrica pela densidade do solo.

3.6.3.2 Determinação da Densidade do solo (D_s)

De posse dos valores de massa de solo seca à estufa a 105°C, foi calculada a Densidade do solo pela relação entre a massa do solo seco e o volume do anel coletor (25,43 cm³).

3.6.3.3 Determinação do Índice de cone (IC)

Os valores brutos obtidos no campo, que representam a média de 3 (três) determinações por profundidade, foram transformados em Índice de cone por meio da equação abaixo, obtida na calibração de fábrica do penetrômetro:

$$IC = 0,0855 + 0,0559 \times (Ld)$$

onde,

IC – Índice de cone (kgf.cm⁻²)

Ld – Leitura direta (0,01 mm).

3.6.4 Descrições do sistema de exploração animal

3.6.4.1 Método de pastejo

O método de pastejo utilizado foi o contínuo, com carga animal variável, sendo utilizada a técnica “put and take” descrita por MOTT & LUCAS (1952). Nesta técnica o número de animais é variável em função da oferta de forragem, porém, como em experimentos de pastejo é necessário medir o desempenho animal como resposta aos tratamentos, BLASER (1966) sugeriu o uso de dois tipos de animais experimentais: animais “testers”, que são animais que permanecem na parcela experimental ao longo de todo o período de pastejo e se possível durante todo o experimento; e animais “reguladores”, que são animais que entram e saem da parcela experimental de acordo com a variação na disponibilidade de forragem, regulando a oferta de matéria seca.

Foram utilizados três novilhos “testers” por piquete, animais inteiros (não castrados) da raça Charolês, com idades de 12 a 18 meses e com peso variando de 170 a 350 kg. Os animais reguladores eram mestiços, alguns

inteiros e outros castrados com idades de 18 a 24 meses e pesos variando de 140 a 400 kg.

Os animais foram identificados com brincos plásticos numerados e a eles foram fornecidos água e sal mineral à vontade. O controle sanitário seguiu o calendário normal de vacinação, desverminação e controle de ectoparasitas.

A cada 4 semanas foram feitas pesagens dos animais. Antes da pesagem os animais passavam por um jejum prévio (enxugo) de 12 horas com restrição de água e alimento.

3.6.4.2 Medidas

Os ganhos médios diários (GMD) foram obtidos periodicamente subtraindo o peso final de cada novilho “testers” do seu peso inicial, dividindo pelo período de tempo transcorrido entre as pesagens. Após obter o GMD individual, calculou-se a média de GMD de cada piquete.

O ganho por área foi calculado subtraindo-se o peso final de cada novilho do seu peso inicial em cada período avaliado. Após obter o ganho médio de peso individual, este foi multiplicado pelo número de animais e divididos pelas áreas dos piquetes. Os resultados foram padronizados para unidade hectare para se obter o ganho por hectare (G/ha).

3.7 ESTIMATIVA DA MASSA DE FORRAGEM

Os tratamentos de oferta de forragem determinam as diferentes cargas animais a serem distribuídas na área experimental a fim de possibilitar as avaliações dos efeitos dos animais nas propriedades físicas do solo. Para tanto foram utilizadas as metodologias descritas a seguir.

A avaliação da disponibilidade de matéria seca foi realizada utilizando-se o método do disco, segundo metodologia empregada por BARCELLOS (1990).

O disco de avaliação é constituído de uma placa de alumínio com área de 0,1 m² e espessura de 2 mm, que desliza livremente por uma haste dentada de alumínio de 50 cm, na qual cada dente representa 1 cm, ligada por meio de uma engrenagem a um contador. Na parte superior do aparelho há um outro contador manual que serve para informar o número de pontos medidos.

Para se determinar a massa de forragem foram efetuadas 20 medições ao acaso na área total do experimento. Para cada ponto era anotada a altura dada no aparelho e cortada a forragem presente abaixo do disco (rente ao solo). As amostras cortadas foram ensacadas e colocadas para secar em estufa sob ventilação forçada a 65°C por 72 horas, sendo pesadas após este período para determinação da massa seca. Em cada piquete foram amostrados outros 30 pontos aleatórios, onde anota-se somente a altura medida pelo aparelho, para se obter a altura média do piquete.

Com os valores de MS dos cortes (20 medições) e suas respectivas alturas, montou-se a seguinte equação de regressão:

$$y = a + bx, \text{ onde:}$$

$$y = \text{MS/ha}$$

$$a = \text{constante}$$

b = coeficiente de regressão entre o peso seco e sua estimativa via disco

$$x = \text{valor médio das alturas dadas no disco.}$$

O cálculo da massa de forragem presente em cada piquete foi feito em separado pela substituição do valor de “x” pelas alturas médias, lidas no disco, em cada parcela (30 pontos).

As equações foram ajustadas em intervalos de 4 semanas. A cada 2 semanas foram efetuadas amostragens intermediárias, para ajustar a carga animal se necessário.

3.8 AJUSTE DA CARGA ANIMAL

Os ajustes de carga animal foram baseados nas estimativas de MS obtidos pela equação de regressão acrescida de uma taxa de acúmulo estabelecida para o período, resultando na oferta de forragem dos piquetes para o período. A taxa de acúmulo foi estimada em função da distribuição da produção de forragem das espécies envolvidas, obtidas na região.

Calculou-se a carga animal para alcançar a oferta estabelecida para o parcela da seguinte forma: Considerando-se, por exemplo, o mês de junho uma pastagem composta por aveia branca, trevo branco e azevem, numa parcela

de 1,2 ha uma massa de forragem estimada pela equação de regressão de 1750 kg de MS/ha, uma taxa de acúmulo estimada em 70 kg de MS/ha/dia para um período de pastejo de 28 dias e uma oferta de 10 kg de MS para 100 kg de PV, ter-se-ia o seguinte ajuste: 1750 kg de MS/ha/28 dias de pastejo correspondendo a 62,5 kg de MS/ha/dia (MS atual) acrescida de 70 kg de MS/ha/dia (taxa de acúmulo), obtendo-se uma massa de forragem de 132,5 kg de MS/ha/dia. Para tanto, tem-se por regra de três:

$$10 \text{ kg MS/ha/dia} \Rightarrow 100 \text{ kg PV}$$

$$132,5 \text{ kg MS/ha/dia} \Rightarrow X \text{ kg PV} \Rightarrow X = 1325 \text{ kg PV/ha.}$$

Desta forma, 1325 kg de PV/ha/dia seriam necessários para alcançar-se a oferta 10 kg de MS para cada 100 kg de PV. No entanto, a área do exemplo é de 1,2 ha, portanto necessitar-se-ia 1590kg de PV. Supondo que dispomos de novilhos com peso médio de 300 kg, então teríamos teoricamente 5,3 novilhos (na prática 5 novilhos) em 1,2 ha para manter uma oferta de 10 kg de MS para 100 kg de PV.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO

Devido à falta de dados de pesquisa para o solo estudado, elaborou-se uma curva padrão de compactação, em uma área livre do pisoteio dos animais, conforme metodologia proposta por ADUR (1990), para servir de parâmetro na avaliação dos resultados obtidos.

4.1.1 Curva de Compactação

Energia 0 – os valores de Índice de cone (IC), quando determinados a 40% de umidade, mostram-se com o seguinte comportamento: na superfície (0-3cm), o valor de IC foi o menor em relação às demais energias, evidenciando ausência de compactação nesta camada. Já na subsuperfície, os valores elevaram-se evidenciando a presença de uma camada compactada a partir dos 6 cm de profundidade (Tabela 1).

TABELA 1 - Valores de Índice de cone (kgf.cm^{-2}) sob diferentes níveis de compactação

	ENERGIAS							
	E ₀		E ₁		E ₂		E ₃	
	umidade (%)		umidade (%)		umidade (%)		Umidade (%)	
Profundidade	40%	50%	40%	50%	40%	50%	40%	50%
0 - 3 cm	2,15	5,87	4,01	6,96	10,67	8,45	10,51	8,72
6 - 9 cm	13,06	8,97	11,24	8,67	10,66	9,41	13,48	8,34
12 - 15 cm	12,00	8,79	14,90	8,44	10,59	8,78	10,44	8,70

A 50% de umidade, o comportamento observado foi o mesmo, porém, com magnitudes diferentes (solo úmido). Enquanto a 40% o IC varia de 2,15 a 13,06 kgf.cm^{-2} , a 50% varia de 5,87 a 8,97 kgf.cm^{-2} .

Energia 1 – o tratamento E1 teve como energia total 4,90 Joules.cm^{-2} . Observou-se a 40% de umidade na superfície do solo um valor de IC de 4,01 kgf.cm^{-2} , superior à energia anterior, como resposta à carga aplicada. Na subsuperfície o Índice de cone aumentou para 11.24 kgf.cm^{-2} (6-9cm) e para

14,90 kgf.cm⁻² na profundidade de 12 a 15 cm, o que evidencia o aumento da compactação.

A 50% de umidade o comportamento é semelhante: 6,96 kgf.cm⁻² de 0-3cm de profundidade; 8,67 kgf.cm⁻² de 6 a 9 cm e 8,44kgf.cm⁻² para 12 a 15 cm.

Energia 2 – Neste tratamento, a energia total de compactação é de 9,80 Joules.cm⁻². Observou-se a 40% de umidade valores praticamente constantes de Índice de cone, variando de 10,59 a 10,67 kgf.cm⁻². A 50% de umidade os valores variaram de 8,45 à 9,41 kgf.cm⁻², o que traduz uma compactação maior na superfície (8,45 kgf.cm⁻²), com um ligeiro aumento na profundidade de 6 a 9 cm (9,41 kgf.cm⁻²) e uma queda no valor de IC aos 12 cm (8,78 kgf.cm⁻²).

Energia 3 – A energia total empregada foi de 14,70 Joules.cm⁻². Observou-se uma tendência maior à compactação a 40% de umidade na profundidade de 6-9cm (13,48 kgf.cm⁻² em relação à superfície, com redução do valor de IC na terceira profundidade (12 – 15 cm). A 50% de umidade na superfície o IC foi o mais elevado em função da energia aplicada (8,72 kgf.cm⁻²), evidenciando maior compactação frente a esta energia. Com os valores obtidos na subsuperfície, verifica-se que o IC diminui a 6 – 9 cm e torna a elevar-se na profundidade de 12 a 15 cm (8,70 kgf.cm⁻²).

Com relação à densidade do solo, para estes valores de umidade (40 e 50%), a densidade pouco variou na superfície com o aumento das energias imprimidas ao solo (Tabela 2). Na subsuperfície os valores de Densidade do solo elevam-se, confirmando, da mesma forma como observado para Índice de cone, a presença de uma camada compactada herdada de manejos anteriores praticados neste solo até 15cm de profundidade.

TABELA 2 - Valores de Densidade do solo (g.cm-3) sob diferentes níveis de compactação

	ENERGIAS							
	E ₀		E ₁		E ₂		E ₃	
	umidade (%)		umidade (%)		Umidade (%)		umidade (%)	
Profundidade	40%	50%	40%	50%	40%	50%	40%	50%
0 - 3 cm	1,00	0,93	1,18	0,98	1,16	0,99	1,09	0,97
6 - 9 cm	0,86	1,09	0,97	1,02	0,97	1,01	0,97	1,05
12 - 15 cm	0,91	1,03	1,09	0,98	0,78	1,01	0,67	1,03

4.1.2 Relação entre Índice de cone (IC), Densidade do solo (Ds) e Umidade volumétrica (%)

As mudanças na densidade e resistência dos solos (Índice de cone) são funções de seu conteúdo de umidade (CORREA e REICHARDT, 1995). Ao se utilizar os valores de Densidade do solo e de Índice de cone como parâmetros para estabelecer o estado de compactação de um solo, estes deverão estar sempre associados aos valores de umidade a que foram obtidos (ADUR, 1990).

Segundo CASSEL (1982), a dependência do Índice de cone em relação à umidade dificulta a operacionalização das amostragens e, preferencialmente, as amostragens devem ser feitas com umidade próximas à capacidade de campo.

O Índice de cone varia muito mais com o conteúdo de umidade do solo que a densidade. Um solo com mesma densidade apresentará índices de cone diferentes se os conteúdos de umidade forem diferentes. Portanto, sua utilidade fica limitada à medida feita para o mesmo solo à mesma umidade (ADUR, 1990).

A calibração do Índice de cone e da Densidade do solo, em função da umidade é necessária para tornar possível a comparação dos valores, restringindo os efeitos intervenientes que possam ocorrer, apesar das dúvidas existentes, quanto à melhor maneira de proceder esta calibração.

Considerando que a variação de umidade tem influência direta, tanto na gênese destas camadas como no momento de determinação das propriedades físicas do solo (BAVER et al., 1973; MATA, 1988; ADUR, 1990), buscou-se um tratamento dos dados que refletisse o estado médio de compactação, tendo na umidade o principal fator de referência, devido a sua importância na compactação do solo.

Para tanto, os dados foram agrupados em estratos crescentes de 1% de umidade, na faixa de 30,0 a 57,0 % de umidade com base no volume (θ), dada em porcentagem. na profundidade de 0-3cm, 6-9cm e 12-15cm, o que corresponde aos valores encontrados em campo.

Os dados agrupados de Umidade (θ), Densidade do solo (Ds) e Índice de cone (IC) encontram-se no anexo II. Os gráficos apresentados no anexo III foram gerados pela análise de regressão linear e representam um conjunto de

dados que originam os valores apresentados nas tabelas 3 e 4, durante os quatro períodos amostrados.

VIANA (1988) verificou em laboratório, que a resistência à penetração média (Índice de cone) para um LATOSSOLO BRUNO, com a umidade no ponto crítico para compactação (29,4%) em material da camada de 0-10 cm de profundidade, era de 20 kgf.cm⁻². Observa-se que os dados obtidos neste experimento evidenciam, para o menor teor médio de umidade obtido (30,0%), um Índice de cone de 6,57 kgf.cm⁻², divergindo dos dados encontrados pelo aludido autor. A resistência à penetrometria ou Índice de cone variou em média de 2,19 a 18,61kgf.cm⁻², correspondendo a 55,0% e 33,0% de umidade volumétrica, respectivamente.

Em relação aos dados obtidos de Índice de cone (IC) durante todos os períodos de amostragem, nas 3 profundidades, ficou demonstrado que a resistência do solo à penetração aumentou com a diminuição da umidade, confirmando os dados encontrados por HENSATH & MAZURAK, (1974); ADUR, (1990), e BELTRAME et al. (1991).

Este fato ocorre porque o teor de umidade intervém modificando a coesão entre as partículas do solo, que é maior no solo seco e decresce à medida que o teor de água aumenta, provocando separação entre elas.

DALLA ROSA (1981), em estudo da camada compactada de um LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO com preparo de 1 (uma) aração com disco mais 2 (duas) gradagens leves, obteve um Índice de cone igual a 22,47 kgf . cm⁻² na umidade gravimétrica de 30,42%.

Comparando os dados obtidos, com os dados deste último autor, verificamos que estes estão muito acima dos valores médios obtidos neste experimento, não caracterizando compactação do solo ou índices restritivos à penetração das raízes.

CINTRA e MIELNICZUCK (1983) observaram que na resistência média superior a 11 kgf.cm⁻² ocorrem reduções de até 50% do sistema radical da soja e trigo. Desta forma, os dados obtidos no presente experimento, após a saída do gado e antes do plantio da cultura do milho, constatou-se que o valor médio de Índice de cone foi de 9,46 kgf. cm⁻². o que não caracterizou restrição ao desenvolvimento radical do milho em sucessão à pastagem.

CORREA e REICHARDT, (1995), afirmam que uma relação importante no estudo da compactação do solo é a Densidade do solo que é, na realidade, sua medida quantitativa mais direta. Quanto maior for a Densidade do solo, menor a porcentagem de poros e mais compactado é o solo.

Em relação à Densidade do solo e Umidade volumétrica, a literatura afirma que a densidade aumenta com a umidade até atingir um máximo. Posteriormente, novas adições de água acarretam uma diminuição na Densidade do solo (SILVA, 1986).

Nas condições deste experimento a densidade do solo diminuiu à medida em que aumentou a umidade volumétrica. Esta tendência é confirmada por ROA (1992), que demonstrou uma alta correlação ($r = -0,95$) entre umidade e densidade do solo, em um Latossolo Roxo Distrófico, provavelmente devido a não serem dados em umidades menores.

Verificamos que o fato de a densidade do solo diminuir com o acréscimo de umidade é confirmada por ADUR (1990). O autor afirma que, mesmo sem aplicação de energia, o solo apresentou variação na densidade de acordo com o conteúdo de água, caracterizando a existência de variação natural no seu estado de compactação.

Segundo VIANA (1988), a umidade ótima ou umidade no ponto crítico para a compactação do LATOSSOLO BRUNO, na camada de 5-10cm, é de 29,4%, alcançando uma densidade máxima de $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$. O valor médio de maior densidade encontrado foi de $1,19 \text{ g.cm}^{-3}$, correspondendo a uma umidade de 43,87%, demonstrando a diferença entre os dados obtidos em condições de laboratório e de campo.

Os resultados de pesquisa, comparando métodos de preparo de solo (plantio convencional, escarificação e plantio direto), sumarizados por DERPSCH (1992), indicam que, em LATOSSOLOS ROXOS com densidade inferior a $1,20 \text{ g.cm}^{-3}$, problemas no desenvolvimento radical não são prováveis. Somente com densidade superior a $1,25 \text{ g.cm}^{-3}$ seria possível haver dificuldades de crescimento das raízes.

BASSANI, et al., (1994) obtiveram, para um solo Podzólico acizentado textura franco argilosa, valores de densidades entre $1,30$ a $1,37 \text{ g.cm}^{-3}$ quando compararam plantio convencional e plantio direto, respectivamente, em áreas de pastejo no inverno. Segundo os mesmos autores, estas diferenças não

foram suficientemente grandes para causar diferenças na produtividade do milho.

Os resultados de Densidade do solo, obtidos no presente estudo, variaram entre os limites de $0,63 \text{ g.cm}^{-3}$ a 30,0% de umidade a $1,18 \text{ g.cm}^{-3}$ a 48,0% de umidade volumétrica.

Um quadro resumo das análises de variância indicando as interações entre as variáveis estudadas, bem como os quadrados médios e os coeficientes de variação obtidos é apresentado a seguir.

QUADRO 2: Resumo das análises de variância com o quadrado médio das variáveis Umidade do solo (%), Índice de cone (kgf.cm^{-2}) e Densidade do solo (g.cm^{-3}) no experimento de milho em sucessão ao pastejo de inverno. FAPA, Campo 12, Colônia Vitória - Entre Rios - Guarapuava -PR.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio		
		θ (%)	IC (kgf.cm^{-2})	Ds (g.cm^{-3})
Repetição	3	0.025	92.690	0.008
Oferta de forragem	2	0.000 ns	2.071 ns	0.011 ns
Erro	6	0.001	1.313	0.005
Profundidade	2	0.008 **	42.889 **	0.043 **
Oferta*Profundidade	4	0.000	0.898 ns	0.001 ns
Erro	18	0.0002	1.176	0.001 ns
Época	3	0.007 **	51.240 **	0.004 **
Oferta*Época	6	0.000 ns	1.705 ns	0.008 *
Profundidade*Época	6	0.002 ns	6.675 **	0.006 ns
Oferta*Profund.*época	12	0.0003 ns	0.541 ns	0.001 ns
Erro	81	0.001	2.119	0.002
Total	143			
Média geral		0.463	9.549	1.028
CV (%)		6.94	15.24	4.74

θ - Umidade volumétrica; IC - Índice de cone; Ds - Densidade do solo.

* Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste Tukey

** Diferença significativa a 1% de probabilidade pelo teste Tukey

ns Não significativo

Os coeficientes de variação (CV%) são considerados baixos: 6,94% e 4,74% para as variáveis umidade do solo e densidade do solo, respectivamente, e médio (15,24%) para a variável Índice de cone.

A variável Umidade volumétrica do solo confirmou a tendência observada pela metodologia do agrupamento por classes de umidade, onde o teste de Tukey mostrou significância a 1% de probabilidade na profundidade de 6 a 9 cm. evidenciando menor teor de umidade nesta profundidade em relação às demais, conforme o quadro a seguir.

QUADRO 3: Médias das variáveis Umidade do solo (%), Índice de cone (kgf.cm^{-2}) e Densidade do solo (g.cm^{-3}) em três profundidades, no experimento de milho em sucessão ao pastejo de inverno. FAPA. Campo 12, Colônia Vitória. Entre Rios, Guarapuava, PR.

Profundidade (cm)	Média *		
	θ (%)	IC (kgf.cm^{-2})	Ds (g.cm^{-3})
0 - 3	0.4735 a	8.775 b	1.013 b
6 - 9	0.4487 b	10.600 a	1.063 a
12 - 15	0.4681 a	9.269 b	1.009 b

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade para Densidade de solo (Ds) e a 1% de probabilidade para índice de cone (IC) e para umidade volumétrica (θ).

Tal fato sugere um adensamento do solo nesta posição do perfil, visto que a compactação promove diminuição da macroporosidade com posterior redução da capacidade de retenção de água, conforme BAVER et al. (1973).

A análise estatística dos dados aponta diferença significativa também na profundidade de 6 a 9 cm para a Densidade do solo e Índice de cone em relação às demais indicando a presença de camada compactada.

4.1.3 Variação temporal de Densidade do solo (Ds) e Índice de cone (IC), com Umidade volumétrica padronizada a 50%.

No caso deste experimento, a correção dos valores de Índice de cone e densidade do solo, em relação a um valor padrão de Umidade volumétrica, facilitou a compreensão do comportamento das variáveis sobre a compactação do solo.

A análise dos resultados, obtidos pela metodologia utilizada por agrupamento dos dados em intervalo de classe de umidade volumétrica, mostra que o Índice de cone, padronizado em 50% de umidade do solo, na camada de 0 a 3cm de profundidade teve um comportamento temporal da seguinte forma: de $7,76 \text{ kgf.cm}^{-2}$; $6,47 \text{ kgf.cm}^{-2}$ e $5,69 \text{ kgf.cm}^{-2}$ para 5, 10 e 15% de oferta de forragem (OF) aos 45 dias de pastejo à $10,63 \text{ kgf.cm}^{-2}$; $6,37 \text{ kgf.cm}^{-2}$ e $8,17 \text{ kgf.cm}^{-2}$ para 5, 10 e 15% de oferta de forragem (OF) no momento da retirada dos animais da área experimental aos 86 dias.

TABELA 3: Valores de Índice de cone (kgf.cm^{-2}) em diferentes níveis de oferta de forragem (%), para as profundidades de 0-3, 6-9 e 12-15cm nas diferentes épocas de amostragem (dias).

ÉPOCA (dias)	PROFUN- DIDADE (cm)	OFERTA DE FORRAGEM (%)					
		5		10		15	
		UMIDADE (%)		UMIDADE (%)		UMIDADE (%)	
		40	50	40	50	40	50
45	0-3	12,16	7,76	9,51	6,47	9,74	5,69
	6-9	11,96	8,22	14,02	8,34	12,79	6,35
	12-15	11,31	8,21	12,67	7,76	10,83	8,12
86	0-3	14,42	10,60	12,47	6,37	13,94	8,17
	6-9	13,70	8,95	12,19	8,89	13,71	9,75
	12-15	13,00	8,73	11,04	9,09	11,39	8,86
197	0-3	9,66	8,09	6,17	7,92	11,46	7,82
	6-9	11,38	7,59	11,33	9,11	8,96	9,62
	12-15	10,60	7,74	9,77	7,42	7,55	7,93
268	0-3	12,49	7,33	9,03	7,32	7,74	7,59
	6-9	12,62	8,91	11,06	9,25	13,51	8,85
	12-15	11,04	9,00	10,70	8,13	11,67	8,61

Após a última amostragem de solo na área de pastejo a pastagem foi diferida, por um período de 40 dias, para permitir a retomada de crescimento da biomassa vegetal (30 dias) e que fosse realizada sua dessecação (10 dias). Em seguida foi realizado o plantio direto da lavoura de milho para silagem.

Aos 71 dias após o plantio do milho, os valores médios de Índice de cone, na profundidade de 0 a 3 cm, foram de 7,82 ; 7,92 ; 8,09 kgf.cm^{-2} para as ofertas de forragem de 15, 10 e 5%, enquanto que aos 142 dias após o plantio, os valores foram de 7,59 ; 7,32 ; 7,33 kgf.cm^{-2} nos diferentes tratamentos.

Por meio dos resultados obtidos verifica-se que, onde houve pisoteio do gado, ocorreu aumento nos valores de Índice de cone na superfície de 7,76 kgf.cm^{-2} (a 5% de oferta de forragem) aos 45 dias de pastoreio para 10,60 kgf.cm^{-2} aos 86 dias quando da saída dos animais da área.

Estes resultados são considerados resistências médias (10 a 20 kgf.cm^{-2}) a resistências baixas (< 10 kgf.cm^{-2}). SOIL SURVEY MANUAL. 1993.

Verifica-se, ainda, que após a colheita do milho, o valor de Índice de cone decresceu para 7,33 kgf.cm^{-2} , indicando que o sistema radical das

forrageiras, por ocasião do diferimento, e do milho contribuíram sobremaneira para com a regeneração da camada compactada nos 3 primeiros centímetros de profundidade.

A análise estatística dos dados corroboram com a metodologia de agrupamento dos dados por intervalos de classes de umidade e análise de regressão linear, a partir de um valor de umidade padrão, utilizados neste experimento para análise dos dados em diferentes épocas de amostragem. Desta forma, após a retirada dos animais da pastagem (época 2), o solo mostrou-se mais compactado que nas demais épocas ($11,27 \text{ kgf.cm}^{-2}$).

QUADRO 4: Médias das variáveis Umidade do solo (%) e Índice de cone (kgf.cm^{-2}) em quatro épocas de avaliação, no experimento de milho em sucessão ao pastejo de inverno. FAPA, Campo 12, Colônia Vitória, Entre Rios, Guarapuava, PR.

Época (dias)	Média*	
	θ (%)	IC (kgf.cm^{-2})
1 (45)	0.4636 ab	8.883 b
2 (86)	0.4442 b	11.270 a
3 (197)	0.4758 a	8.627 b
4 (268)	0.4703 a	9.411 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade para umidade volumétrica (θ) e índice de cone (IC).

Conforme apresentado no Quadro 5, as profundidades de 0 a 3 cm e para 6 a 9 cm, os valores de penetrometria foram maiores, $11,58 \text{ kgf.cm}^{-2}$ na profundidade de 0 a 3 cm, e $12,05 \text{ kgf.cm}^{-2}$ na profundidade de 6 a 9 cm, também no momento da retirada dos animais do pasto.

Para a terceira profundidade (12 a 15cm) não houve diferença significativa entre as diferentes épocas de amostragem, pelo fato de a energia do pisoteio não se transmitir a camadas mais profundas e também pela maior cobertura vegetal observada, principalmente nos tratamentos de maior oferta de forragem.

QUADRO 5: Médias das variáveis Índice de cone (kgf.cm^{-2}) e Densidade do solo (g.cm^{-3}) em três profundidades, dentro das quatro épocas de avaliação, no experimento de milho em sucessão ao pastejo de inverno. FAPA, Campo 12, Colônia Vitória, Entre Rios, Guarapuava, PR.

Época (dias)	Profundidade * (cm)					
	0 – 3		6 – 9		12 – 15	
	IC (kgf.cm^{-2})	Ds (g.cm^{-3})	IC (kgf.cm^{-2})	Ds (g.cm^{-3})	IC (kgf.cm^{-2})	Ds (g.cm^{-3})
1 (45)	7.875 b	0.975 b	9.981 b	1.062 a	8.803 a	1.023 a
2 (86)	11.580 a	1.042 a	12.050 a	1.048 a	10.170 a	1.009 a
3 (197)	7.907 b	1.010 ab	9.670 b	1.053 a	8.304 a	0.995 a
4 (268)	7.734 b	1.026 a	10.710 ab	1.087 a	9.793 a	1.007 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, para a variável Densidade do solo e a 1% de probabilidade para a variável Índice de cone.

O fato marcante é que os valores de Índice de cone foram significativos nas profundidades de 0 a 3cm e de 6 a 9cm na segunda época de amostragem, ou seja, aos 86 dias de permanência dos animais no experimento.

A densidade do solo teve uma variação média de $1,02 \text{ g.cm}^{-3}$ (5% de OF) a $0,99 \text{ g.cm}^{-3}$ (10% e 15% de OF) ao longo do período experimental. De 6 a 9 cm, os valores médios foram de $1,04 \text{ g.cm}^{-3}$ (5% de OF); $1,03 \text{ g.cm}^{-3}$ (10% de OF) e $1,04 \text{ g.cm}^{-3}$ (15% de OF). De 12 a 15 cm de profundidade, os valores médios de densidade foram de $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$ (5% de OF); $0,99 \text{ g.cm}^{-3}$ (10% de OF) e $0,97 \text{ g.cm}^{-3}$ (15% de OF).

BOWEM e KRATKY (1985), sugeriram valores críticos generalizados de densidade, para solo na capacidade de campo, com uma variação de $1,55 \text{ g.cm}^{-3}$, para solo de textura argilosa, até $1,85 \text{ g.cm}^{-3}$ para solo de textura arenosa.

TABELA 4: Valores de Densidade do solo (g.cm^{-3}) em diferentes níveis de oferta de forragem (%), para as profundidades de 0-3, 6-9 e 12-15cm nas diferentes épocas de amostragem (dias).

ÉPOCA (dias)	PROFUN- DIDADE (cm)	OFERTA DE FORRAGEM (%)					
		5		10		15	
		UMIDADE (%)		UMIDADE (%)		UMIDADE (%)	
		40	50	40	50	40	50
45	0-3	1,05	1,04	0,95	1,01	0,89	0,93
	6-9	1,18	1,06	1,06	1,07	1,07	0,98
	12-15	1,12	1,05	1,05	1,02	1,06	0,95
86	0-3	1,06	1,03	1,05	0,96	1,08	1,03
	6-9	1,07	1,06	1,04	1,07	1,06	1,05
	12-15	1,07	0,99	1,12	0,97	1,00	0,96
197	0-3	1,09	1,01	1,01	1,00	0,98	0,93
	6-9	1,15	0,96	1,10	1,01	1,05	1,04
	12-15	1,17	0,98	0,96	0,98	1,09	0,96
268	0-3	1,23	0,99	1,11	1,02	1,08	1,01
	6-9	1,10	1,07	1,11	1,04	1,11	1,10
	12-15	1,08	0,96	1,08	0,98	1,02	1,01

Os dados submetidos à análise de variância para a variável Densidade do solo denotam a mesma tendência observada para Índice de cone e Umidade volumétrica do solo. Os valores de Densidade do solo foram maiores na profundidade de 6 a 9 cm ($1,063 \text{ g.cm}^{-3}$) conforme apresentado no Quadro 3. Ainda, não houve diferença significativa entre as demais profundidades e épocas de amostragem.

Não houve diferença significativa entre o tratamento de 5% (oferta de 5 kg de MS/100 kg de peso vivo), e o de 10% nas diferentes épocas de amostragem para esta variável (Quadro 6).

Constatou-se diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste Tukey apenas na oferta de 15% no momento da retirada dos animais da área para a profundidade de 0 a 3cm, em relação às demais. Houve diferença significativa na profundidade 0 a 3cm (na superfície) na primeira época de amostragem, ou seja, aos 45 dias após a entrada dos animais no experimento, em relação às demais. Na primeira época a densidade foi menor ($0,97 \text{ g.cm}^{-3}$);

já, após a retirada dos animais da pastagem, houve um aumento na densidade do solo, porém não diferindo estatisticamente entre si.

QUADRO 6: Médias da variável Densidade do solo (g.cm^{-3}) em três níveis de oferta de forragem (%) em quatro épocas de avaliação, no experimento de milho em sucessão ao pastejo de inverno. FAPA, Campo 12, Colônia Vitória, Entre Rios - Guarapuava - PR.

Época (dias)	Médias de Oferta de Forragem (%)*		
	5	10	15
1 (45)	1,071 a	1,018 a	0,975 b
2 (86)	1,043 a	1,021 a	1,042 a
3 (197)	1,036 a	1,013 a	1,010 ab
4 (268)	1,029 a	1,043 a	1,026 a

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade para a Oferta de Forragem de 15% e a 1% de probabilidade para as Ofertas de Forragem de 5% e 10%.

Note-se que a partir da retirada dos animais do experimento e com a implantação da lavoura de milho, não houve diferença significativa para as variáveis estudadas que indiquem incremento na compactação do solo, mesmo após a colheita do milho. Este fato se deve à capacidade de regeneração da camada compactada do solo promovida pelo sistema radical das forrageiras no momento do diferimento da pastagem para formação da palhada para o plantio da lavoura. Ainda, a presença do facão de corte na máquina de plantio direto ajuda a romper a superficial camada compactada observada durante o experimento.

4.2 RENDIMENTO DE CULTURAS EM SUCESSÃO À PASTAGEM

LUSTOSA (1998), trabalhando em áreas de pastejo (AP) e em áreas de concentração dos animais (AC), obteve dados de produção da cultura do milho na mesma área estudada neste experimento. Os resultados evidenciaram que o milho cultivado nas áreas de pastejo teve uma produção de 917 kg/ha a mais que a testemunha e 516 kg/ha a mais que os locais de concentração dos animais e que a produtividade foi de 7,4; 7,9 e 8,4 toneladas por hectare para as ofertas de forragem de 5, 10 e 15%, respectivamente.

Ressalta, ainda, que o uso da semeadeira de plantio direto com facão, rompeu bem a camada compactada existente na superfície do solo nas áreas

de concentração dos animais e as sementes conseguiram germinar e emergir adequadamente. Quando se compara o (LC) e a testemunha, nota-se que houve comprometimento das características físicas do solo, por outro lado, também houve compensação química neste local contradizendo o conceito de que animais pastejando em áreas de lavoura compactam e podem reduzir a produção das culturas. É importante observar que os locais de concentração representam apenas entre 1% e 3% da área total do piquete.

A maior produção obtida na área de pastejo pode ser também devido a uma cobertura maior do solo pelas leguminosas protegendo o solo da perda de umidade e também condicionando menor variação de temperatura de solo além de maior reciclagem de nutrientes pelas fezes e urina dos animais e principalmente do N através das leguminosas.

4.3 RESPOSTA ANIMAL

4.3.1 Ganho médio diário

Os resultados obtidos por LUSTOSA (1998), evidenciam diferenças não significativas para o ganho médio diário (GMD) e os níveis de oferta de forragem (1,145 kg para 5% de OF ; 1,149 kg para 10% e 1,232 kg a 15% de OF) de uma pastagem consorciada de Aveia + Azevém + Trevo branco + Trevo vermelho. Os referidos ganhos se equivalem àqueles obtidos por animais confinados na região, demonstrando que a alta qualidade da forragem aproxima o animal de seu potencial de ganho.

A carga animal utilizada no experimento, tendo-se considerado uma unidade animal (UA) equivalente a 450 kg de peso vivo, foi de 4,7; 4,9 e 4,3 UA/ha, para as ofertas de forragem de 5, 10 e 15%. A carga animal comumente utilizada no Estado do Paraná está próxima a 0,5 UA/ha.

Estes resultados foram superiores aos obtidos por QUADROS; MARASCHIN (1987), que obtiveram valores de 0,705 a 1,080 Kg/animal/dia onde era mantida uma oferta de forragem de 6% do peso vivo.

4.3.2 Ganho por área

Segundo CAMPBELL (1961), as ofertas menores (baixa disponibilidade de MS) estão associadas a alta percentagem de utilização da pastagem e com isto uma alta produção por hectare.

O ganho de peso vivo por hectare (G/ha) de bovinos pastejando misturas de espécies de estação fria, sob níveis de ofertas de forragem, no ano de 1996 em Guarapuava - PR foi de 701,2 ; 505,5 e 403,3 kg/ha para os níveis de oferta de 5, 10 e 15%, respectivamente.

É importante lembrar que os G/ha no Estado do Paraná estão próximos aos 90 kg/ha/ano. Este experimento demonstra, portanto, que está-se perdendo grande potencial de produção de carne e leite a pasto.

5 CONCLUSÕES

Com a metodologia adotada e os resultados obtidos, nas condições em que foi realizado o experimento, as conclusões são as seguintes:

1 – Os resultados obtidos de Densidade do solo e Índice de cone denotam que a área experimental apresenta uma camada mais compactada na profundidade de 6 a 9 cm decorrente de cultivos anteriores à instalação deste experimento. Porém, estes valores, quando interpretados para uma mesma umidade, mostram que este fato não deve ser atribuído ao pisoteio do gado, mas sim à variação da umidade em profundidade.

2 – Na comparação dos valores de Densidade do solo e Índice de cone com a umidade padronizada em 50%, nas profundidades estudadas de 0 a 3 cm, 6 a 9 cm e 12 a 15 cm, observou-se que mesmo com o pisoteio dos animais, a compactação causada foi maior na superfície, não passando dos primeiros 12 centímetros de profundidade.

3 - Entre as quatro épocas de amostragem, verificou-se que a compactação foi maior no momento da retirada dos animais da área experimental aos 86 dias de pastejo. Nos três tratamentos empregados (5 , 10 e 15% de oferta de forragem), não foram constatadas diferenças significativas para caracterizar a formação de camadas compactadas na superfície do solo em estudo.

4 - Após a retirada dos animais do experimento, e o desenvolvimento do milho implantado na seqüência, não foi observada a presença de camada compactada, o que pode ser atribuído à atuação do sistema radical destas culturas após o pastejo, sem comprometer a produtividade da área de 7,9 toneladas por hectare, como média dos três tratamentos.

5 – Os valores elevados de umidade encontrados, evidenciam que no sistema integrado proposto, a capacidade de armazenamento de água do solo foi elevada, não ocorrendo diferenças entre os tratamentos, o que não permitiu a obtenção de dados no denominado ramo seco da curva de compactação.

REFERÊNCIAS

ADUR, A. F. **Comportamento de um Latossolo vermelho-escuro, textura argilosa, quando submetido a diferentes energias de compactação.** Curitiba, 1990. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BARCELLOS, A. O. **Avaliação de métodos para estimativas da massa de forragem em condições de pastejo.** Porto Alegre, 1990. 181 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BARLEY, K. P. Influence of soil strength on growth of roots. **Soil Science**, Baltimore, v. 96, p. 175-180, 1963.

BARLEY, K. P.; GREACEN, E. L. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots undergrovend shoots. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 1-43, 1967.

BASSANI, H. J.; REINERT, D. J.; SCAPINI, C. A.; BOENI, M.; RESTLE, J. Efeito do Plantio direto e Convencional em áreas com pisoteio animal sobre algumas propriedades físicas do solo e produtividade do milho. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25,1995, Viçosa. **Resumo expandido.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de solos, 1995. v. 4, p.1819-1821.

BAUDER, J. W.; RANDALL, G. W.; SWAN, J. B. Effect of four continous tillage sistems on mechanical impedance of clay loam soil. **Soil Science Society of American Journal**, v. 45, p. 802-806, 1981.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics.** New York, John Niley & Sons, 1973. 498 p.

BELTRAME, L. F. S.; GONDIN, L. A. P.; TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, p. 145-149, 1981.

BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. The resistance experienced by roots growing in a pressurised cell. A reapraisal. **Plant and Soil**, Dordrect, v. 123, p. 73-82, 1990.

BERTOL, I.; SANTOS, J. C. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no planalto catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30. n. 2, p. 263-267, 1995.

BLACKWELL, P. S. Compaction of a silt loam soil by agricultural vehicles-effects upon soil conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 7, p. 97-116, 1986.

BLASER, R. E. 1966. Efecto del animal sobre la pastura. In: PALADINES, O. L. (Ed), **Empleo de los animales en las investigaciones sobre pasturas**. Montevideo: IICA. 1966. p. 1-29.

BOWEN, J. E.; KRATKY, B. A. Compactación del suelo. **Agricultura de las Américas**, n. 6, p. 10-14, 1985.

BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis, physical chemical and mineralogical methods. Madison: **American Society Agronomy, 1986.

BRADFORD, J. M.; GUPTA, S. C. Soil comprimibility. In: METHODS of Soil Analysis. 2. ed. Madison: **American Society Agronomy, 1986. Part 1 (Agronomy series, n. 9).

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44 p.

CAMPBELL, R. B., REICOSKI, D. C., DOTI, E. W. Physical properties and Tillage peledults in the southearten costal plains. **J. Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 29, p. 220-226, 1974.

CASSEL, D. K.; BAVER, A. Spatial variability in soils below depth of tillage. Bulk denoisty and 15 atmosphere moisture percentage. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 39, p. 247-250, 1975.

CASSEL, D. K.; BOWEN, H. D.; NELSON, L. A. An evolution of mechanical impedance for three tillage treatments on Norkfolk sandy loam. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 42, p. 116-120, 1978.

CASSEL, D. K. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. In: Predicting Tillage effects on soil physical properties and processes, Madison, 1982. **Proceedings...**, Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 145-167.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUCK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 2. p. 197-201, 1983.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUCK, J.; SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas. v. 7, n. 2, p. 323-327, 1983.

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 07-114, 1989.

CRUSE, R. M.; CASSEL, D. K.; AVERBTE, F. G. Effect of particle surface roughness in desertification of coarse textures soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, p. 303-312, 1986.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo**. Porto Alegre, 1981. 136 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DERPSCH, R. Importância da rotação de cultura e adubação verde nos sistemas de produção trigo-soja no sul do Brasil: In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PLANTIO DIRETO EM SISTEMAS SUSTENTÁVEIS**, 1993. p. 58-74.

DEXTER, A. R. Mechanic of a root growth. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 98, p. 303-312, 1986.

DIAZ, R. M.; GARCIA, F.; BOZZANO, A. 1980. Dinámica de la disponibilidad de nitrógeno y las propiedades físicas del suelo em rotaciones de pasturas e cultivos. In: **ROTACIONES**. Colonia: CIAA. Estacion experimental "La Estanzuela", 1980. p. 3-5.

EAVIS, B. W. Soil physical conditions affecting seedling root growth. I. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels on a sandy loam soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 36, p. 613-622, 1972.

EMBRAPA – Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Serviço nacional de levantamento de solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: SUDESUL/IAPAR, 1984. v. 2.

GRADWELL, M. W. Soil moisture deficiencies in puddled pasture. **New Zealand Journal Agriculture Research**. v. 9, p. 127-136, 1966.

GROSS, M. J. Effects of mechanical impedance and root growth in barley (*Hordeum vulgare*, L.). Effects on elongation and banching of seminal roots. **Journal of Experimental Botany**, v. 28, p. 96-111. 1977.

GROENEVELT, P. H.; KAY, B. D.; GRANT, C. D. Physical assistment of a soil with respect to rooting potential. **Gioderma**, Amsterdam, v. 34, p. 101-114, 1984.

HENSATH, D. L.; MAZURAK, A. P. Seedling growth of sorghum in clay- sand mixtures at various compactations and water contents. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 38, p. 387-390, 1974.

HOPP, H. Earthworms fight, erosion too. **Soil Conservation**, v. 11, n. 2, p. 252-254, 1946.

JATEMBERG, W. D. Predicting the best time to apply nitrogen to grassland in spring. **Journal of the British Grassland Society**, Oxford, v. 25, p. 266-271, 1970.

KLAPP, E. **Prados e pastagens**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971. 872 p.

LUGO-LÓPEZ, M. A. Pore size and bulk density as mechanical soil factors impeding root development. **J. Agric. Univ. P. Rico**, v. 44, p. 40-44, 1970.

LUSTOSA, S. B. C. **Efeito do pastejo nas propriedades químicas do solo e no rendimento de soja e milho em rotação com pastagem consorciada de inverno no sistema de plantio direto**. Curitiba, 1998. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MARASCHIN, G. E.; MOTT, G. O. Resposta de uma complexa mistura de pastagem tropical a diferentes sistemas de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 221-227, 1989.

MARUN, F.; MELLA, S. C. **Recuperação de pastagens no Noroeste do Paraná através da sucessão de culturas por um ano**. Londrina: IAPAR, 1994. 15 p. (Informe da pesquisa, 111).

MATA, V. J. D. de. **Relações entre as características físicas e os níveis de compactação de alguns latossolos paranaenses**. Curitiba, 1988. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MISRA, R. K.; DEXTER, A. R.; ALLSTON, A. M. Maximum axial and radial growth pressure of plant roots. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 98, p. 315-326, 1986.

MORAES, A. de. ; MARASCHIN, G. E.; NABINGER, C. Pastagens nos ecossistemas de clima subtropical: Pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS; XXXII REUNIÃO ANUAL DA SOC. BRAS. DE ZOOTECNIA, 32, 1995, Brasília. **[Anais...]** Brasília: SBZ, 1995. p. 146-200.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, (6.: 1952: Pennsylvania). **Proceedings**. Pennsylvania: State College Press, 1952. p. 1380-1385.

MOTT, G.O. Grazing pressures and the measurement of pasture production. In: **Proceedings**. 8th Int. Grassld. Congr. England, 1960. p. 606.

MURPHY, W. M. ; MENA BARRETO, A. D.; SILMAN, J. P.; DINDAL, D. L. 1995. Cattle and sheep grazing effects on soil organisms, fertility and compaction in a smooth-stalked meadowgrass-dominant white clover sward. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 50, p. 191-194.

PEARSON, R. W. Soil environment and root development. In: **Plant environment and efficient water use**. Soil Science Society of America, Madison , p. 95-126. 1981.

PERUMPRAL, J. V. Cone penetrometer application - a review. **Transaction of ASAE**, St. Joseh, V. 30, n. 4, p. 939-944. 1987.

ROA, M. A. K. M. 1992. **Degradação e uso do solo, aspectos fundiários e sócio-econômicos da microbacia do Rio Jacutinga – Tupãssi. Paraná.** Curitiba, 1992. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ROMERO, S. C. de. 1976. **Influência de dois sistemas de manejo de pastagens na compactação de uma terra roxa estruturada.** Piracicaba, 1976. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

ROLOFF, G. **Aspectos dinâmicos da estrutura de solos agrícolas e seu estudo.** Washington: Embaixada do Brasil, 1986. 97 p.

SKERMAN, P. J. Legumes in short-term pasture leys. In: TROPICAL forages legumes. Rome: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 1977. p. 3-7.

SOIL SURVEY MANUAL. 1993. **Soil Survey Staff.** Soil Conservation Service. U. S. Department of Agriculture Handbook 18. Disponível em:< toc.htm toc.htm > Acesso em 20 nov. 1997.

TANNER, C. B.; MAMARIL, C. P. Pasture soil compaction by animal traffic. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, n. 6, p. 329-331, 1959.

TAYLOR, H. M.; GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture, content and strenght to soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 96, p.153-156, 1963.

TAYLOR, H. M.; BURNETT, E. Influence of soil strenght on the root growth habitat of plants. **Soil Science**, Baltimore, v. 98, p. 174 -180, 1964.

TRAHOUSE, A. C. 1979. Soil physical characteristics and root growth. In: LAL, R.; TRENLAND, D. J. **Soil physical properties and crop production in the tropics.** Chichester: John Wiley & Sons, 1979. p. 319-325.

VEPRASKAS, M. J.; MINNER, G. S. Effect of subsoiling and mechanical impedance on tabaco root growth. **Soil Science Society of American Journal** , v. 50, p. 423-427, 1986.

VICENTE-CHANDLER, J.; SILVA, J. Effects of nitrogen fertilization and grass species on soil physical conduction in some tropical pastures. **Journal of Agricultural University**, Puerto Rico, v. 44, p.77-86, 1960.

VICENZI, M. L. Práticas de manejo de pastagens associadas à lavouras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGENS, 10., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ,1986. p.1–16.

VOORHEES, W. B. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alluviation when induced soil compactation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 42, p. 129-133, 1983.

WATERS, R. A. S. Numbers and weight of earthworms under a highly productive pasture. **New Zeland Journal of Science and Technology Section A**, Wellington, v.36, p.516-525, 1955.

APÊNDICE

QUADRO 7- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 5% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 45 dias de pastejo.

OF = 5% Profundidade 0-3cm			
INTERVALO (%)	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
31-32	31,5%	16,52	1,08
32-33	32,6%	14,10	0,97
44-45	44,0%	11,64	1,14
45-46	46,4%	11,36	1,12
47-48	48,0%	8,05	1,09
48-49	49,0%	6,34	1,00
50-51	51,1%	6,34	0,96
51-52	51,5%	7,93	1,00

5% 6-9cm			
40-41	40,9%	9,53	1,10
41-42	42,3%	11,00	1,16
42-43	43,3%	11,12	1,11
43-44	43,6%	13,15	1,27
44-45	45,2%	10,04	1,10
45-46	46,4%	10,59	1,06
47-48	47,6%	9,07	1,11
49-50	49,5%	5,41	1,09
50-51	51,1%	9,20	1,00
51-52	51,9%	7,33	1,04

5% 12-15cm			
40-41	40,1%	11,34	1,01
41-42	41,7%	9,23	1,14
42-43	43,1%	11,77	1,12
43-44	43,6%	8,68	1,05
44-45	44,8%	10,93	1,09
45-46	46,0%	11,92	1,17
48-49	48,8%	7,95	1,10
49-50	49,5%	8,92	1,07
50-51	51,1%	5,43	1,01
51-52	51,5%	6,96	1,07
54-55	55,4%	7,80	0,92

QUADRO 8- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 5% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 86 dias de pastejo.

5%	0-3cm	86 DIAS	
INTERVALO %	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
38-39	37,8%	13,84	0,99
40-41	41,3%	16,18	1,07
41-42	42,1%	12,83	1,08
43-44	44,0%	12,28	1,09
45-46	46,0%	13,71	1,05
46-47	47,2%	12,83	1,05
47-48	47,6%	10,50	1,05
48-49	48,8%	11,19	1,06
49-50	49,9%	10,18	1,05
50-51	50,9%	9,43	0,93

5%	6-9cm		
33-34	34,2%	18,61	1,10
34-35	35,0%	15,39	1,06
40-41	40,5%	13,76	1,05
41-42	42,1%	13,35	1,13
42-43	42,9%	10,20	0,98
43-44	44,0%	9,63	1,14
45-46	46,4%	9,94	0,99
46-47	47,2%	11,11	1,07
47-48	48,0%	9,92	1,09
51-52	51,9%	9,83	1,07

5%	12-15cm		
34-35	35,0%	15,64	1,07
40-41	39,7%	12,44	1,11
43-44	44,0%	9,51	0,98
44-45	45,2%	13,39	1,07
45-46	45,8%	10,93	1,03
46-47	47,3%	9,30	1,05
47-48	47,6%	8,79	0,99
49-50	50,3%	9,03	1,04
52-53	53,1%	7,45	0,90

QUADRO 9- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 5% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 197 dias da cultura do milho.

5%	0-3cm	197dias	
INTERVALO %	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
44-45	43,6%	8,79	1,03
46-47	47,2%	8,41	1,14
47-48	48,4%	9,50	0,96
49-50	49,9%	7,78	1,04
51-52	51,9%	6,91	0,94
52-53	53,1%	8,04	1,03

5%	6-9cm		
41-42	41,7%	11,84	1,14
42-43	43,3%	9,28	1,02
43-44	44,0%	9,52	1,08
44-45	45,0%	9,35	1,10
45-46	45,6%	8,86	1,04
47-48	48,4%	8,79	0,95
48-49	48,8%	8,08	1,02

5%	12-15cm		
42-43	42,5%	12,76	1,20
43-44	44,2%	8,48	1,03
44-45	44,8%	7,11	1,03
45-46	46,0%	8,73	1,08
46-47	46,8%	7,97	0,98
47-48	47,6%	8,60	1,07
51-52	51,5%	7,30	0,94
52-53	53,5%	7,07	0,93
53-54	53,9%	7,11	0,90

QUADRO 10- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 5% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 268 dias da cultura do milho.

5%	0-3cm	268 dias	
INTERVALO %	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
44-45	45,2%	9,75	1,12
45-46	45,6%	10,13	1,09
48-49	48,8%	6,20	1,00
49-50	49,9%	8,00	1,01
50-51	50,7%	8,02	0,97
51-52	51,9%	5,92	0,96

5%	6-9cm		
40-41	39,7%	14,06	1,16
42-43	42,3%	10,85	1,04
43-44	43,8%	11,32	1,07
45-46	46,4%	10,89	1,10
46-47	46,8%	7,15	1,05
48-49	49,2%	10,37	1,10
51-52	51,9%	8,83	1,07

5%	12-15cm		
40-41	41,3%	8,94	0,96
41-42	41,7%	10,18	1,05
42-43	43,0%	12,46	1,10
43-44	43,6%	9,85	1,07
44-45	45,2%	11,21	1,07
45-46	46,4%	9,27	0,96
48-49	48,8%	10,35	0,95
52-53	53,5%	7,04	1,02
56-57	57,2%	7,69	0,81

QUADRO 11- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 10% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 45 dias de pastejo.

10%	0-3cm	45dias	
INTERVALO %	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
30-31	31,5%	12,53	0,94
35-36	34,6%	10,11	0,85
44-45	44,0%	7,67	1,02
46-47	47,2%	10,50	1,01
47-48	47,6%	6,05	0,99
49-50	50,1%	3,96	1,01
50-51	50,7%	8,80	1,02
54-55	53,9%	6,34	0,99
55-56	55,8%	2,76	0,90

10%	6-9cm		
39-40	39,3%	13,10	1,04
40-41	40,9%	16,45	1,10
42-43	43,3%	12,53	1,06
44-45	45,0%	11,24	0,98
45-46	45,6%	8,69	1,12
47-48	48,4%	7,78	1,07
48-49	49,0%	8,31	1,06
51-52	51,5%	9,62	1,09

10%	12-15cm		
40-41	40,5%	13,32	1,09
41-42	42,1%	13,00	0,99
42-43	43,3%	11,61	1,01
44-45	44,8%	7,01	1,04
49-50	49,5%	7,25	1,07
50-51	51,1%	6,47	1,01
51-52	52,3%	6,86	1,03
52-53	53,1%	7,53	1,04
53-54	53,9%	6,34	0,96

QUADRO 12- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 10% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3. 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 86 dias de pastejo.

10%	0-3cm	86dias	
INTERVALO %	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
37-38	36,6%	13,84	1,09
40-41	39,8%	11,24	0,99
41-42	42,1%	16,47	1,03
42-43	42,6%	8,36	1,05
43-44	44,4%	10,94	1,05
44-45	45,2%	8,47	0,98
45-46	46,2%	9,59	1,03
46-47	47,2%	6,18	0,94

10%	6-9cm		
33-34	33,7%	13,98	0,98
34-35	35,1%	14,77	1,10
41-42	42,1%	11,12	1,03
42-43	43,3%	9,89	1,03
43-44	44,0%	10,04	1,11
44-45	45,1%	12,35	1,02
45-46	46,2%	9,83	0,98
52-53	53,5%	7,99	0,96

10%	12-15cm		
38-39	38,2%	12,33	1,14
44-45	43,6%	9,38	1,10
45-46	45,6%	10,74	1,00
46-47	46,8%	8,69	1,01
47-48	47,6%	8,68	0,99
49-50	49,5%	9,29	1,04
50-51	51,1%	8,08	1,01
51-52	51,5%	10,24	0,90
53-54	54,3%	7,39	0,87
54-55	54,7%	9,42	0,92

QUADRO 13- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 10% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3. 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 197 dias da cultura do milho.

10%	0-3cm	197 dias	
INTERVALO %	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
46-47	45,6%	6,91	0,95
47-48	48,2%	8,69	1,03
48-49	49,0%	7,56	1,10
49-50	50,1%	6,91	0,99
50-51	50,9%	8,10	1,01
51-52	52,3%	8,67	0,95

10%	6-9cm		
42-43	43,3%	10,65	1,00
43-44	43,8%	10,63	1,12
45-46	45,9%	9,71	1,08
49-50	49,7%	9,28	1,00

10%	12-15cm		
38-39	38,1%	10,93	0,94
41-42	41,7%	9,53	1,03
43-44	44,4%	7,41	0,94
44-45	44,8%	7,84	0,86
45-46	45,6%	8,95	1,07
47-48	47,8%	7,70	0,97
49-50	49,9%	8,44	0,98

QUADRO 14- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 10% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 268 dias da cultura do milho.

10%	0-3cm	268dias	
INTERVALO %	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
44-45	43,6%	8,60	1,02
46-47	46,8%	8,36	1,08
47-48	48,4%	8,98	1,06
48-49	49,2%	6,25	1,01
49-50	49,7%	7,88	1,07
50-51	50,7%	5,14	1,03
52-53	53,5%	5,73	0,98
54-55	55,4%	8,06	0,92

10%	6-9cm		
37-38	37,4%	11,73	1,12
40-41	41,3%	10,28	1,11
42-43	43,3%	12,38	1,03
43-44	44,0%	10,11	1,14
44-45	44,8%	8,02	1,10
45-46	46,0%	10,67	1,06
46-47	46,8%	10,11	1,09
47-48	48,4%	9,07	1,00
51-52	52,3%	9,18	1,03

10%	12-15cm		
39-40	39,3%	10,35	1,04
43-44	43,3%	7,52	1,07
44-45	45,2%	12,10	1,08
45-46	46,0%	11,09	1,00
46-47	46,8%	9,69	1,03
47-48	48,0%	6,81	1,01
48-49	49,0%	8,14	1,02
54-55	55,1%	6,38	0,90

QUADRO 15- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 15% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 45 dias de pastejo.

15%	0-3cm	45dias	
INTERVALO %	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
33-34	32,6%	14,17	0,84
37-38	36,8%	7,35	0,84
41-42	41,7%	12,44	0,95
42-43	42,9%	5,99	0,81
46-47	47,2%	10,20	0,99
47-48	48,4%	6,85	1,04
48-49	49,2%	4,13	0,96
49-50	49,7%	5,28	0,92
50-51	51,1%	6,53	0,96
54-55	55,4%	2,19	0,84

15%	6-9cm		
40-41	39,9%	11,49	0,97
41-42	42,5%	11,43	1,12
43-44	44,4%	10,06	1,04
44-45	45,2%	11,92	1,08
45-46	45,6%	8,63	1,01
46-47	47,0%	8,77	1,10
49-50	49,9%	5,40	0,97
50-51	50,7%	5,45	0,89

15%	12-15cm		
42-43	42,9%	10,11	0,98
43-44	43,6%	10,56	1,03
45-46	46,0%	10,26	0,97
46-47	47,2%	6,87	1,08
47-48	48,0%	8,38	0,99
50-51	50,7%	7,00	0,95
54-55	54,3%	9,63	0,87
55-56	56,2%	5,19	0,90

QUADRO 16- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 15% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 86 dias de pastejo.

15%	0-3cm	86dias	
INTERVALO %	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
35-36	35,4%	17,17	1,10
37-38	38,2%	15,25	1,14
40-41	40,7%	11,62	1,02
41-42	42,4%	13,88	1,03
44-45	45,0%	10,26	1,09
48-49	48,0%	9,65	1,06
51-52	51,5%	7,52	1,01

15%	6-9cm		
35-36	36,4%	14,84	1,05
36-37	37,4%	14,79	1,13
38-39	39,4%	12,10	1,05
39-40	40,4%	14,47	1,07
40-41	40,5%	15,33	1,02
44-45	45,2%	12,40	1,06
45-46	45,6%	9,87	1,04
46-47	47,2%	10,62	1,03
47-48	47,6%	11,28	1,06
51-52	52,3%	8,79	1,07

15%	12-15cm		
33-34	33,0%	13,24	0,97
35-36	36,4%	12,98	1,05
38-39	38,9%	11,28	1,02
41-42	41,8%	11,43	1,02
44-45	44,7%	9,35	0,95
47-48	48,0%	10,20	1,03
50-51	50,7%	7,39	0,95
51-52	51,9%	7,09	0,90
54-55	55,1%	7,76	1,01
55-56	56,2%	8,84	0,88

QUADRO 17- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 15% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 197 dias da cultura do milho.

15%		0-3cm		197dias	
INTERVALO %		UMIDADE		IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
40-41		40,5%		11,56	1,01
45-46		46,4%		6,74	0,88
48-49		48,8%		10,58	1,06
49-50		49,9%		7,28	1,03
50-51		50,7%		9,14	1,03
51-52		51,7%		6,98	0,90
53-54		53,9%		5,43	1,02

15%		6-9cm	
43-44		44,3%	10,22
44-45		44,8%	7,84
45-46		45,9%	9,68
49-50		49,9%	10,41
50-51		50,7%	8,99

15%		12-15cm	
43-44		43,9%	9,27
44-45		44,8%	6,96
45-46		45,6%	8,55
46-47		46,8%	5,60
47-48		47,6%	8,60
54-55		55,1%	7,19
60-61		60,6%	9,14

QUADRO 18- Dados agrupados por estratos crescentes de Umidade Volumétrica em 15% de oferta de forragem, nas profundidades de 0 a 3, 6 a 9 e 12 a 15 cm aos 268 dias da cultura do milho.

15%	0-3cm	268 dias	
INTERVALO %	UMIDADE	IC (kgf.cm ⁻²)	Ds (g.cm ⁻³)
45-46	45,6%	8,10	1,03
46-47	47,1%	8,93	1,09
47-48	48,0%	5,81	0,99
48-49	48,8%	6,96	0,99
49-50	49,9%	7,35	1,02
50-51	51,1%	8,30	1,06
51-52	51,8%	7,82	0,96

15%	6-9cm		
40-41	40,9%	11,53	1,06
41-42	42,1%	11,02	1,05
42-43	43,3%	13,62	1,11
43-44	44,4%	12,92	1,24
45-46	46,2%	10,73	1,10
47-48	47,8%	12,18	1,15
48-49	48,8%	8,71	1,08
51-52	51,5%	6,42	1,04

15%	12-15cm		
37-38	36,6%	11,27	1,00
40-41	39,7%	10,80	0,98
41-42	41,7%	13,30	1,09
42-43	43,3%	11,68	1,01
43-44	44,0%	9,82	0,91
44-45	44,8%	9,91	1,12
45-46	45,6%	12,74	1,13
47-48	48,4%	6,66	0,88
49-50	50,1%	8,87	1,02
52-53	53,1%	7,17	1,00

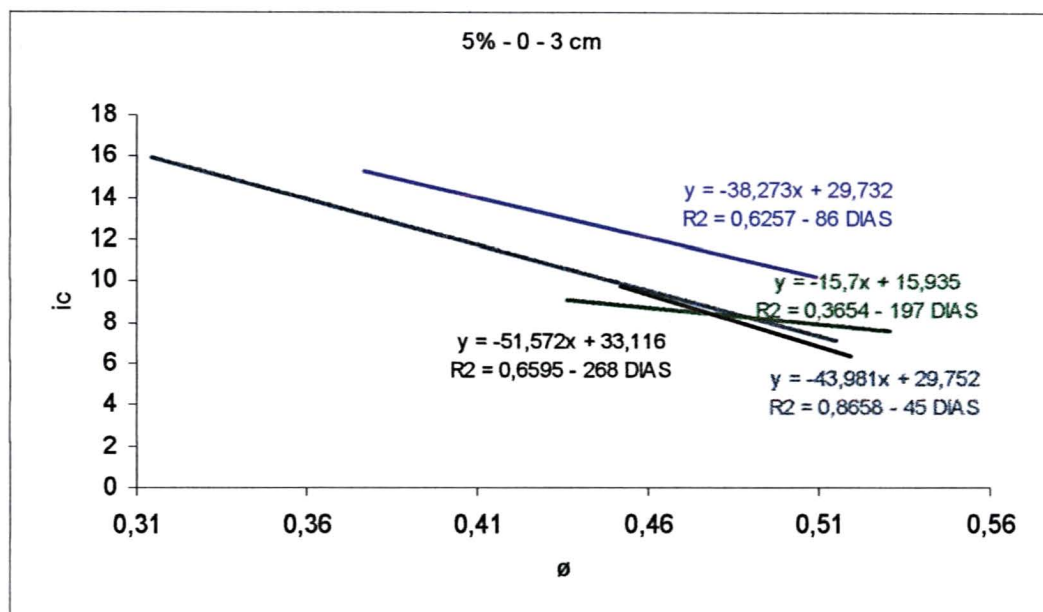


GRÁFICO 1a - VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE CONE E UMIDADE NA SUPERFÍCIE DO SOLO A 5% DE OFERTA DE FORRAGEM

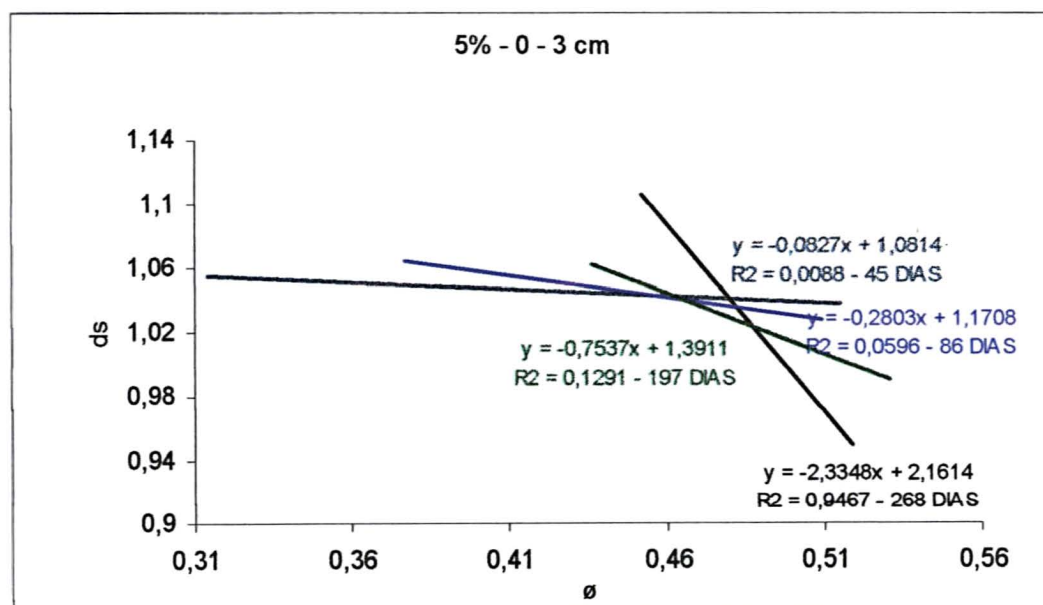


GRÁFICO 1b - VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO E UMIDADE NA SUPERFÍCIE A 5% DE OFERTA DE FORRAGEM

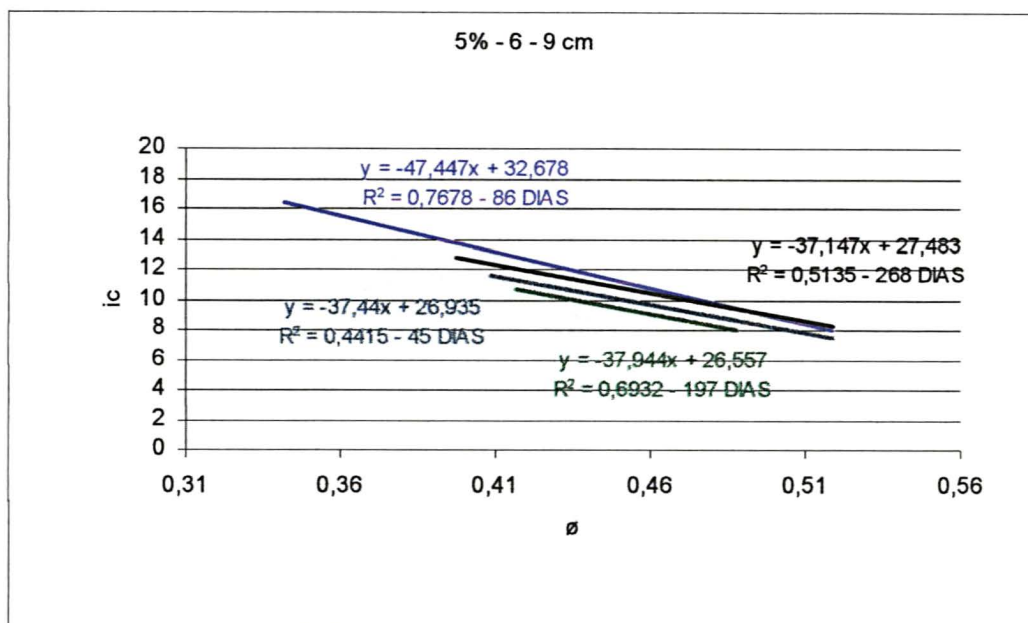


GRÁFICO 2a - VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE CONE E UMIDADE NA SUPERFÍCIE DO SOLO A 5% DE OFERTA DE FORRAGEM

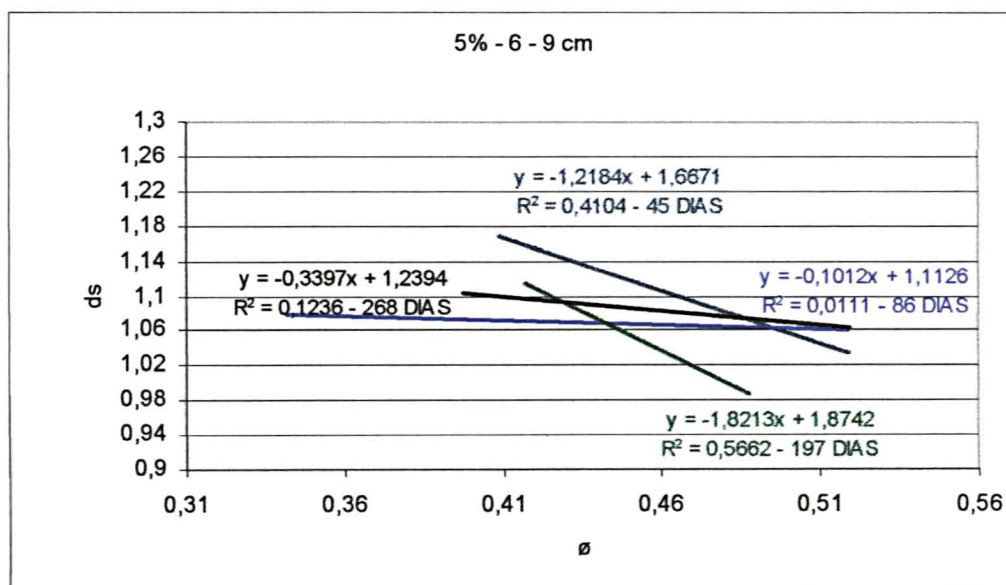


GRÁFICO 2b - VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO E UMIDADE NA SUPERFÍCIE A 5% DE OFERTA DE FORRAGEM

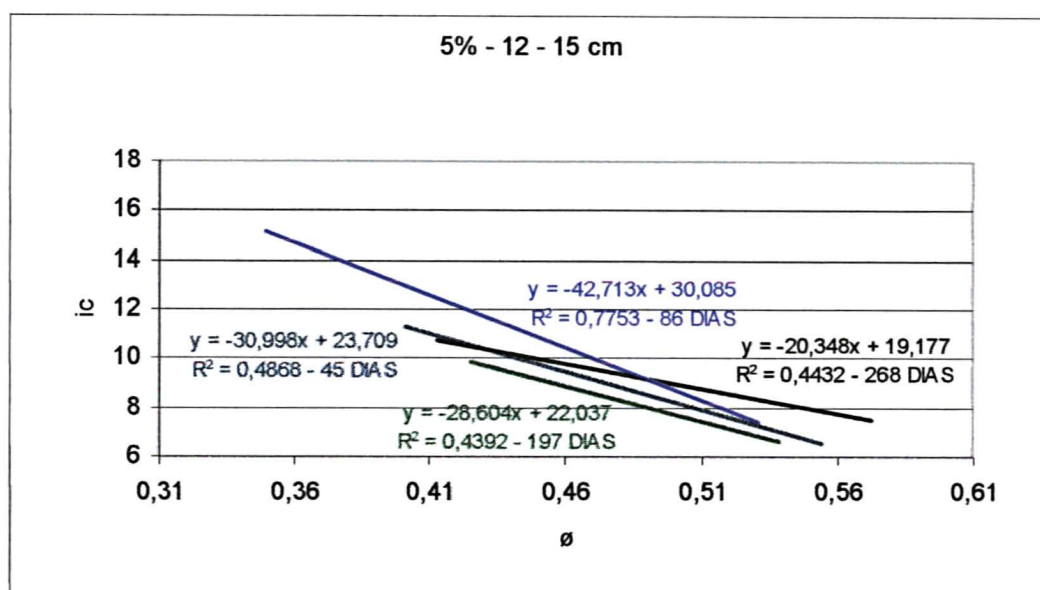


GRÁFICO 3a - VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE CONE E UMIDADE NA SUPERFÍCIE DO SOLO A 5% DE OFERTA DE FORRAGEM

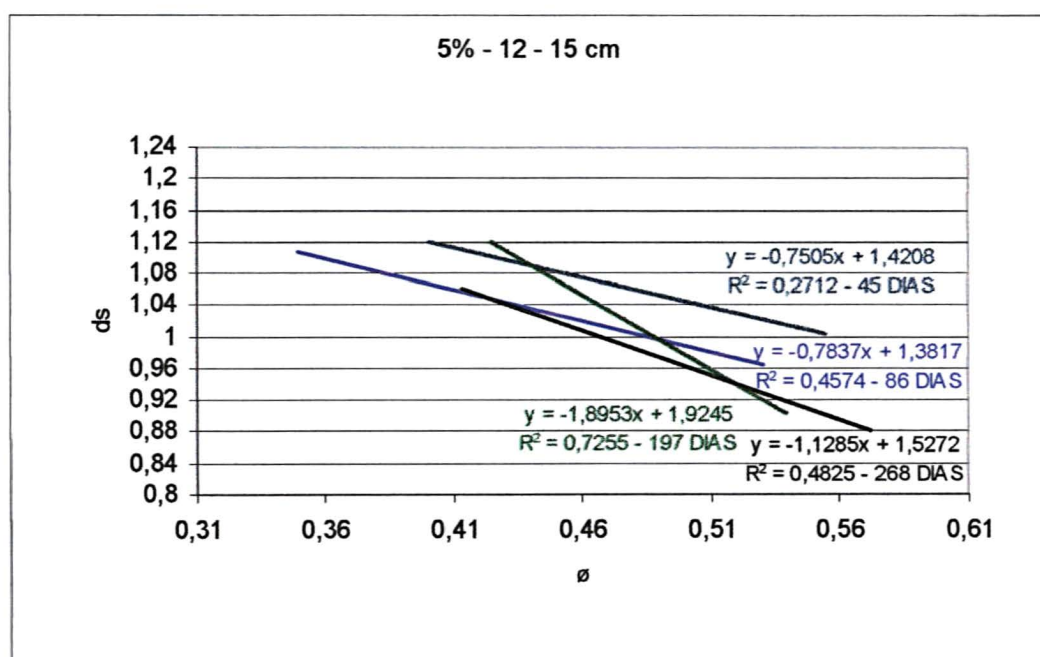


GRÁFICO 3b - VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO E UMIDADE NA SUPERFÍCIE A 5% DE OFERTA DE FORRAGEM

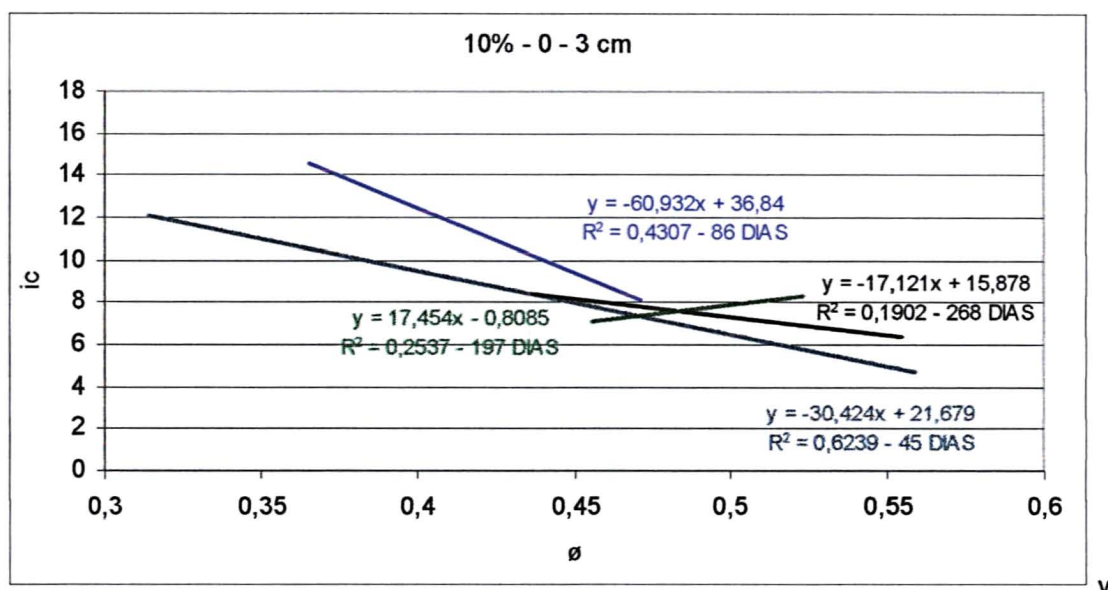


GRÁFICO 4a - VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE CONE E UMIDADE NA SUPERFÍCIE DO SOLO A 10% DE OFERTA DE FORERAGEM

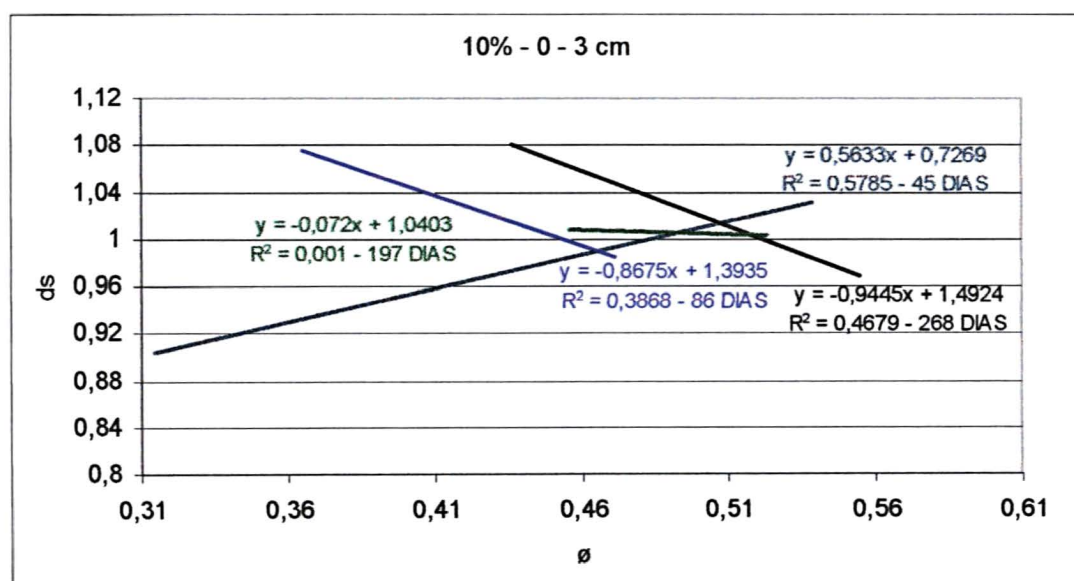


GRÁFICO 4b - VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO E UMIDADE NA SUPERFÍCIE A 10% DE OFERTA DE FORRAGEM

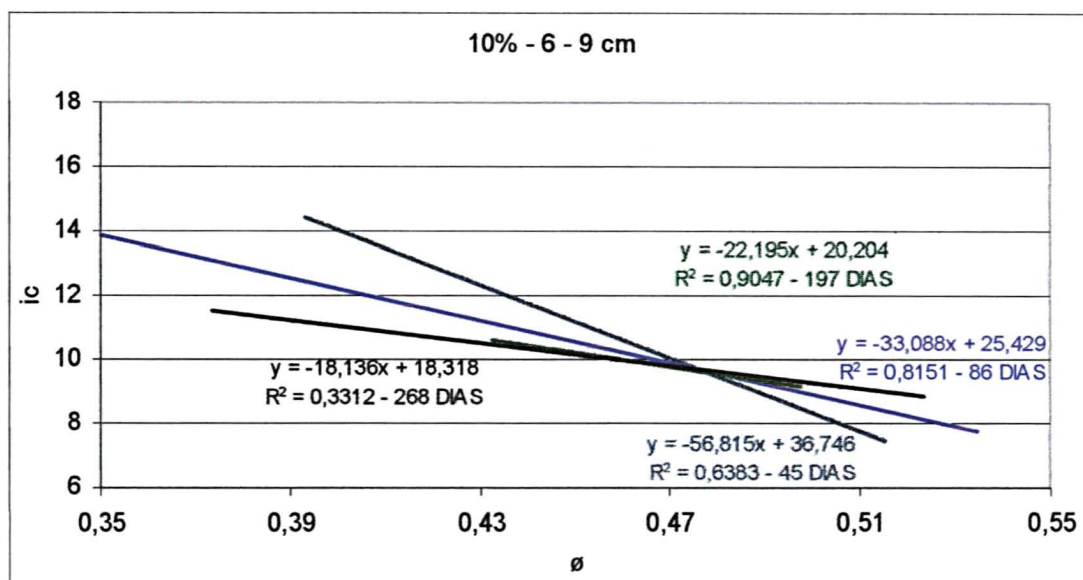


GRÁFICO 5a - VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE CONE E UMIDADE NA PROFUNDIDADE DE 6 A 9 CM A 10% DE OFERTA DE FORRAGEM

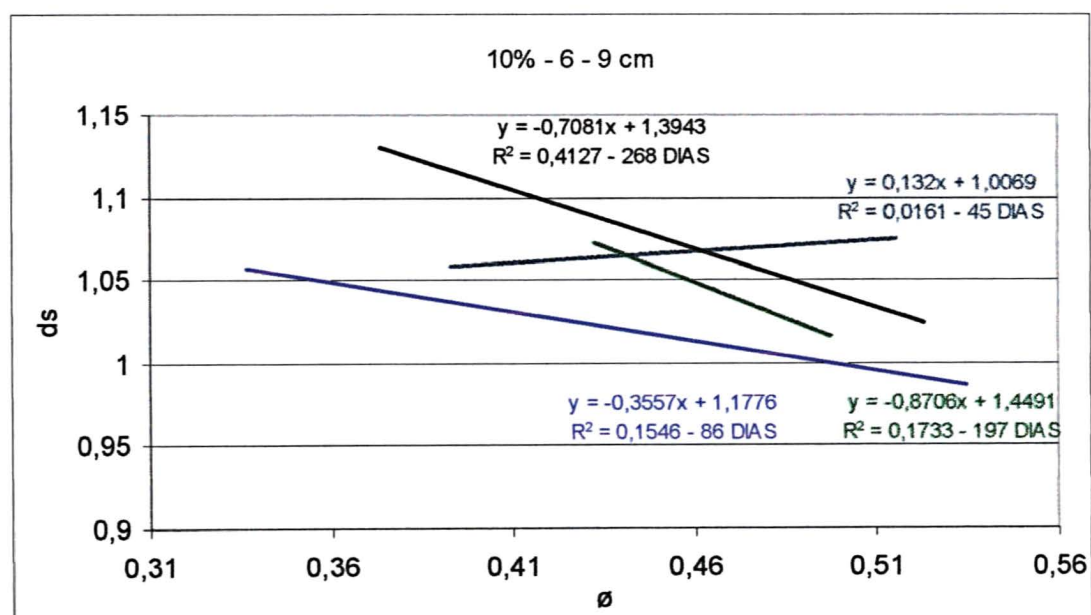


GRÁFICO 5b - VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO E UMIDADE NA SUPERFÍCIE A 10% DE OFERTA DE FORRAGEM

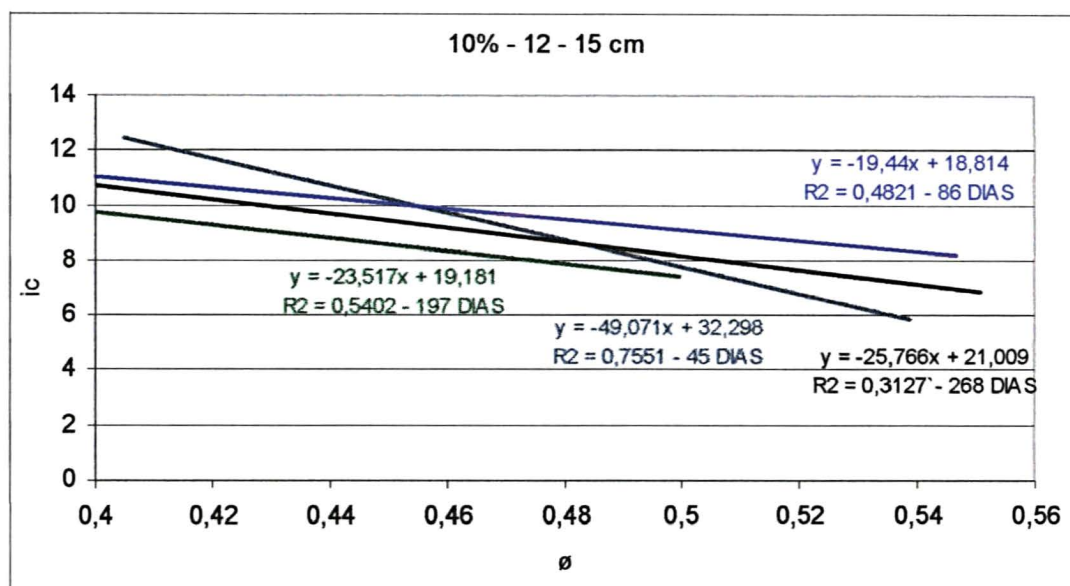


GRÁFICO 6a - VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE CONE E UMIDADE NA SUPERFÍCIE DO SOLO A 10% DE OFERTA DE FORRAGEM

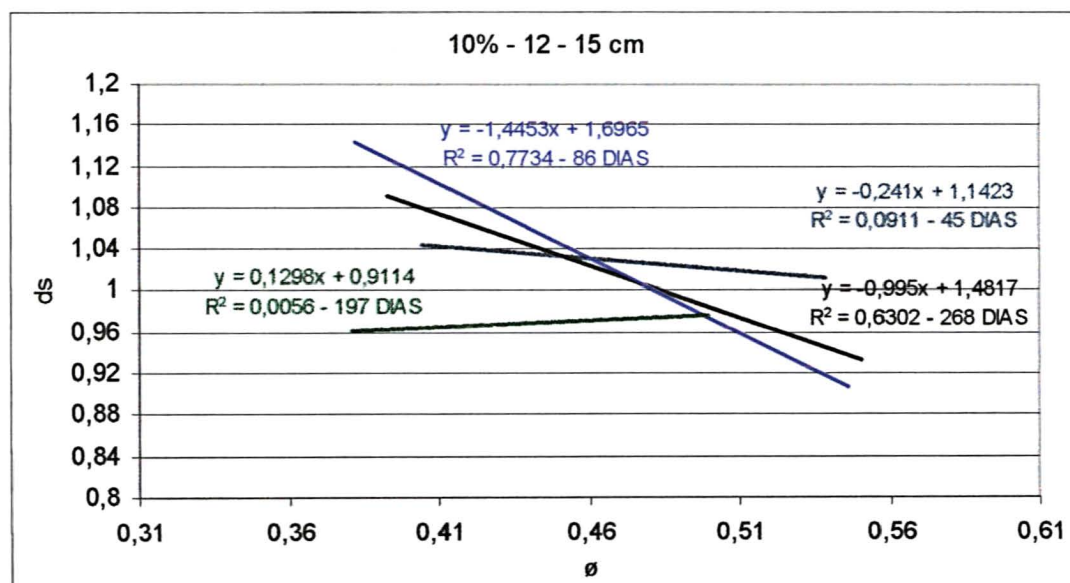


GRÁFICO 6b - VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO E UMIDADE NA SUPERFÍCIE A 10% DE OFERTA DE FORRAGEM

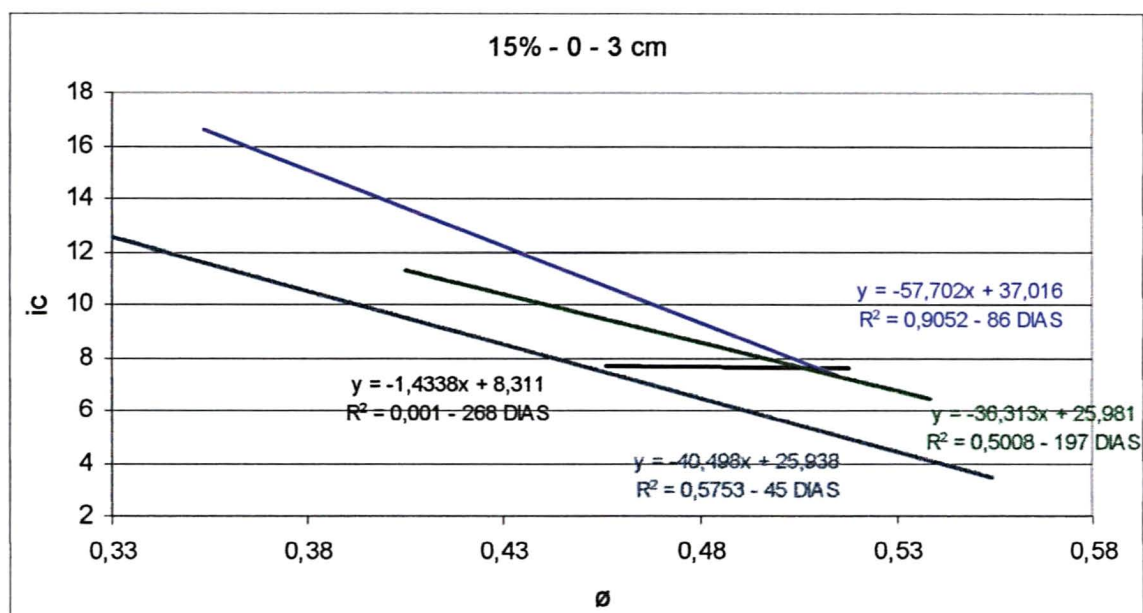


GRÁFICO 7a - VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE CONE E UMIDADE NA SUPERFÍCIE A 15% DE PRESSÃO DE PASTEJO

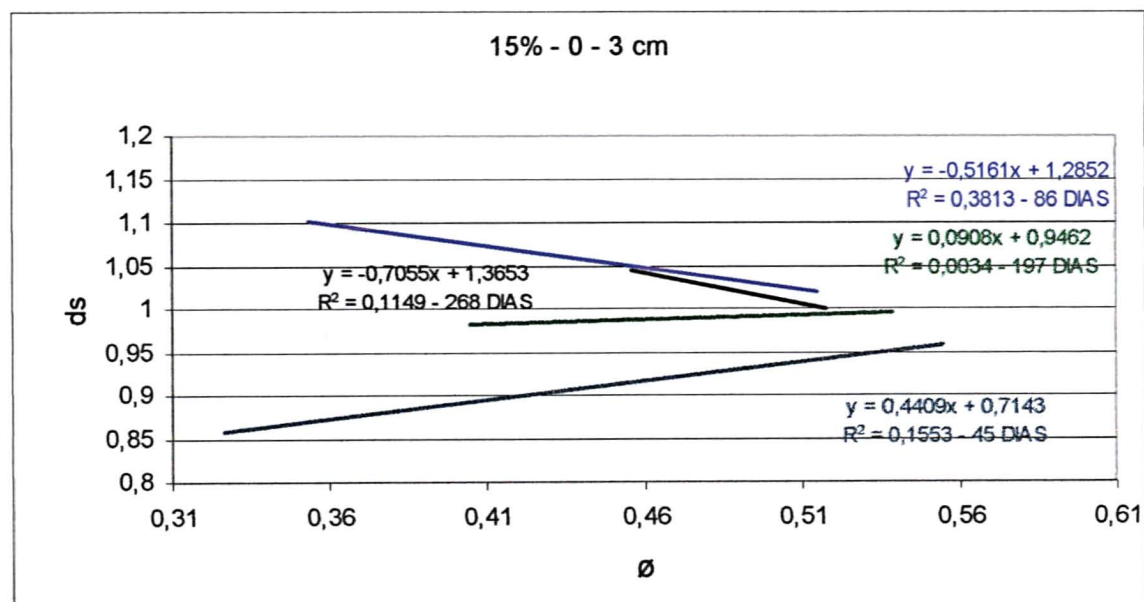


GRÁFICO 7b - VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO E UMIDADE NA SUPERFÍCIE A 15% DE PRESSÃO DE PASTEJO

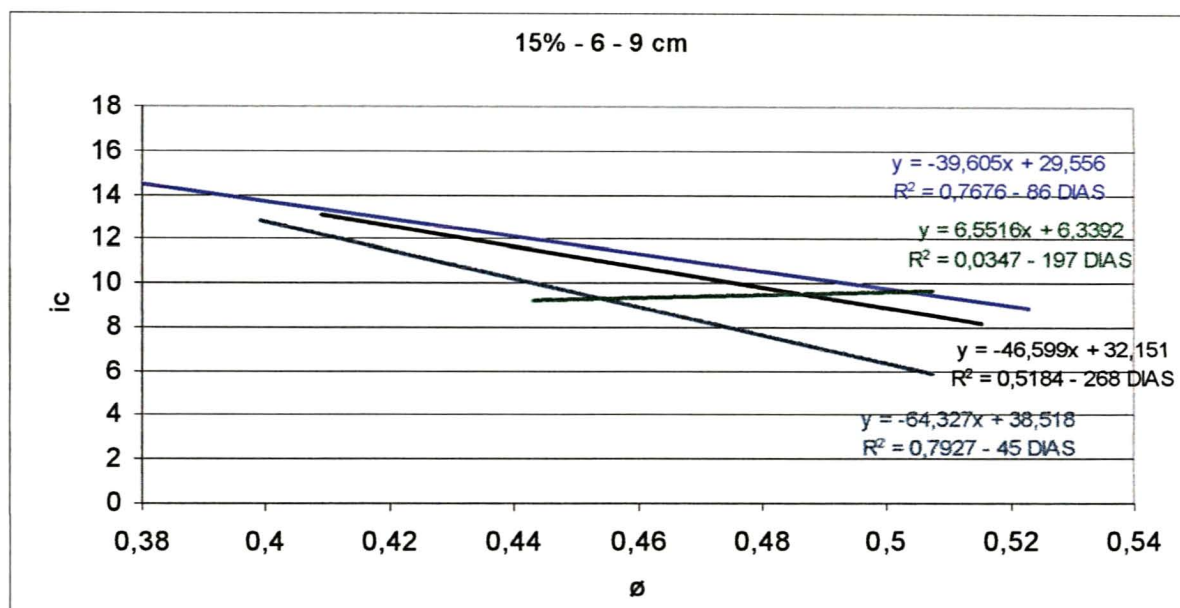


GRÁFICO 8a - VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE CONE E UMIDADE NA PROFUNDIDADE DE 6 A 9 CM A 15% DE PRESSÃO DE PASTEJO

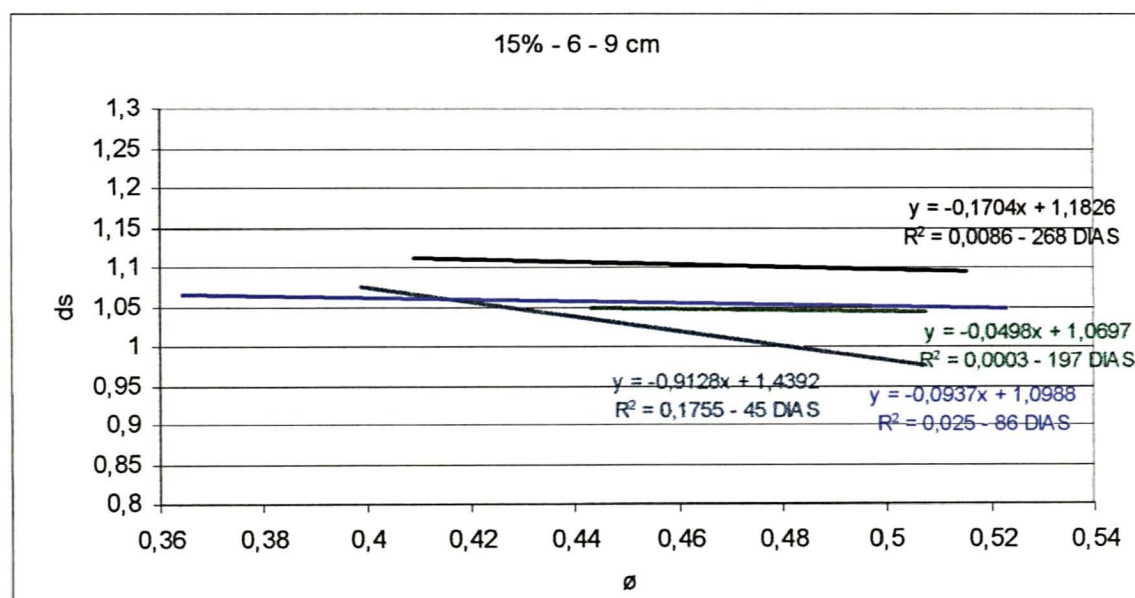


GRÁFICO 8b - VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO E UMIDADE NA PROFUNDIDADE DE 6 A 9 CM A 15% DE PRESSÃO DE PASTEJO

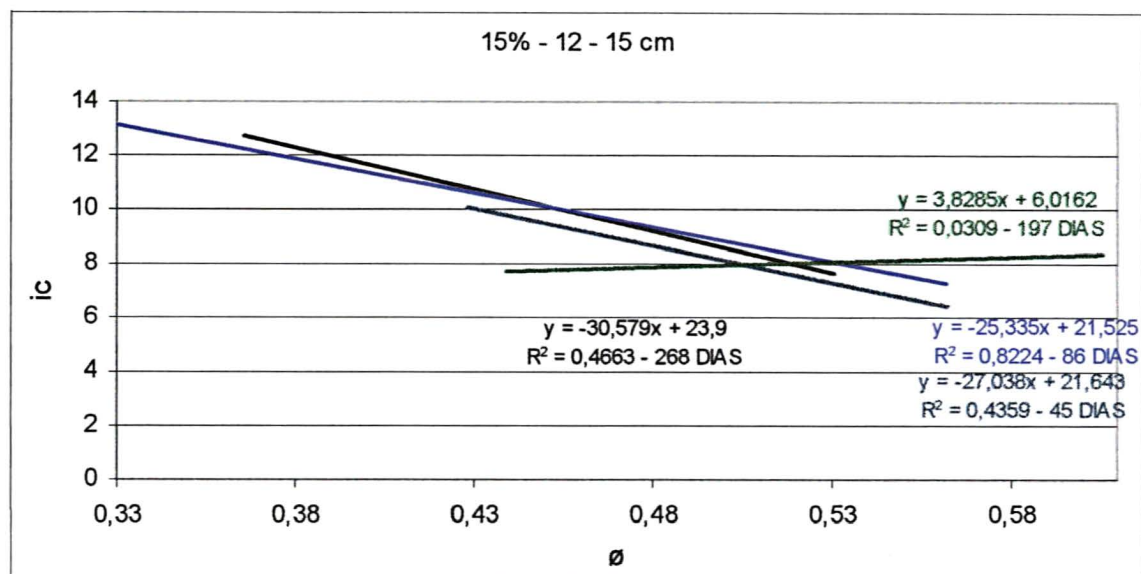


GRÁFICO 9a - VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE CONE E UMIDADE NA PROFUNDIDADE DE 12 A 15 CM A 15% DE PRESSÃO DE PASTEJO

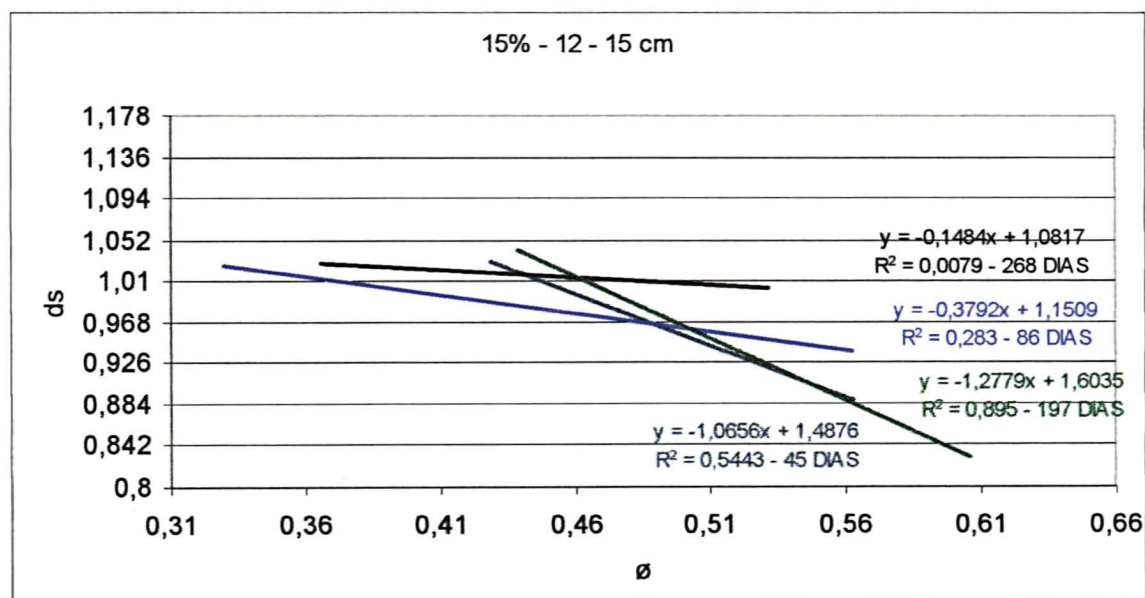


GRÁFICO 9b - VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO E UMIDADE NA PROFUNDIDADE DE 12 A 15 CM A 15% DE PRESSÃO DE PASTEJO

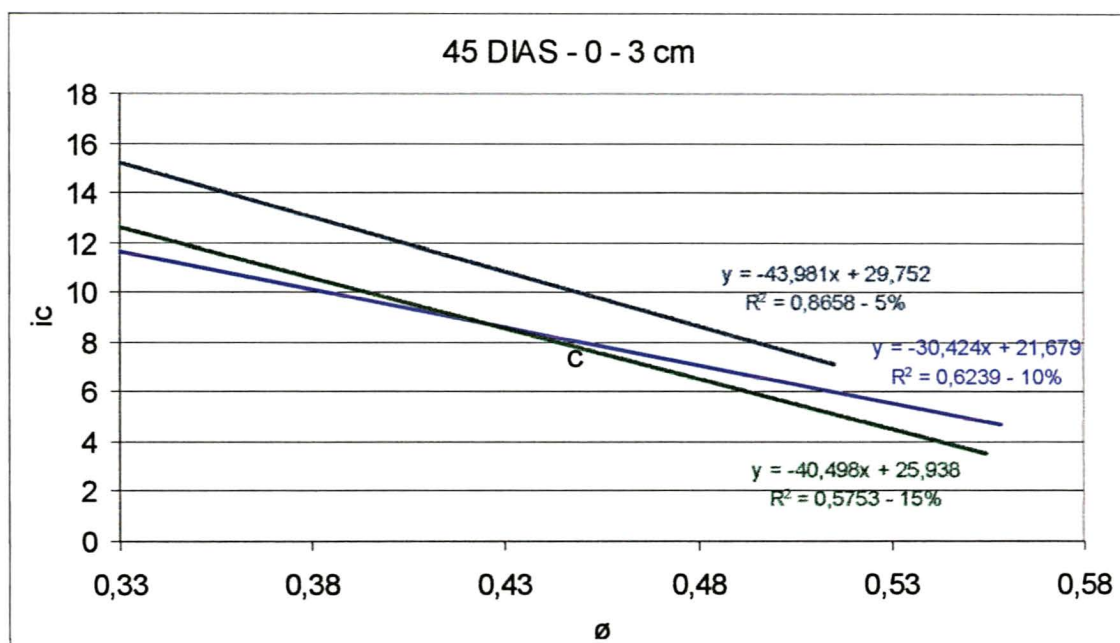


GRÁFICO 10a - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E ÍNDICE DE CONE NOS DIFERENTES TRATAMENTOS AOS 45 DIAS DE PASTEJO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 cm

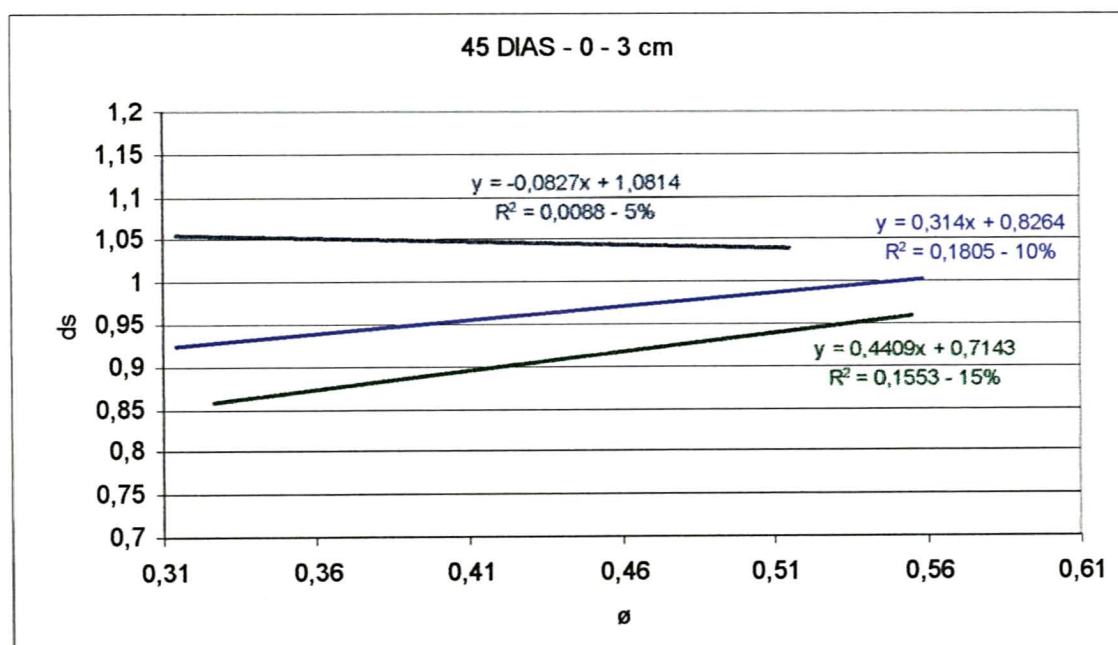


GRÁFICO 10.b - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E DENSIDADE DO SOLO EM DIFERENTES TRATAMENTOS AOS 45 DIAS DE PASTEJO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 cm

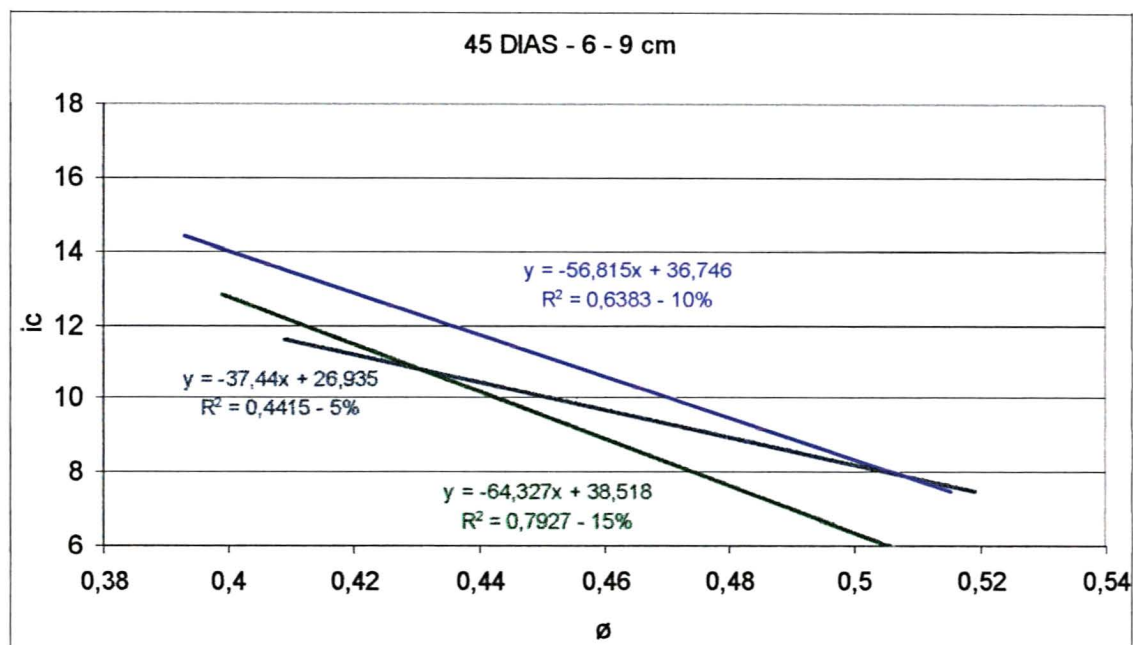


GRÁFICO 11a - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E ÍNDICE DE CONE NOS DIFERENTES TRATAMENTOS AOS 45 DIAS DE PASTEJO NA PROFUNDIDADE DE 6 A 9 cm

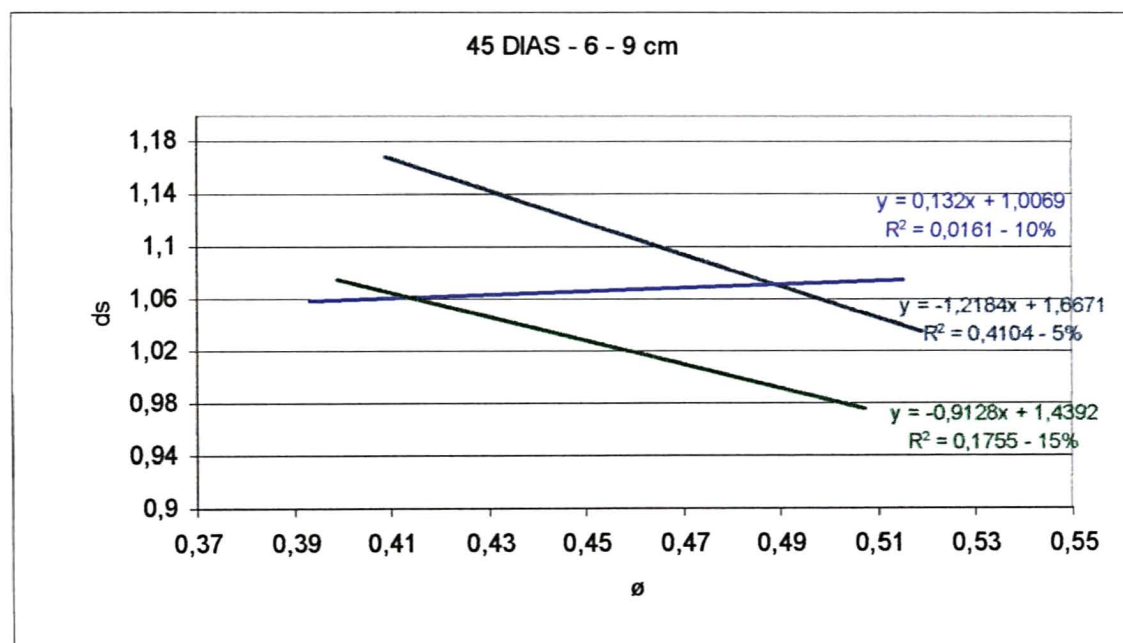


GRÁFICO 11.b - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E DENSIDADE DO SOLO EM DIFERENTES TRATAMENTOS AOS 45 DIAS DE PASTEJO NA PROFUNDIDADE DE 6 A 9 cm

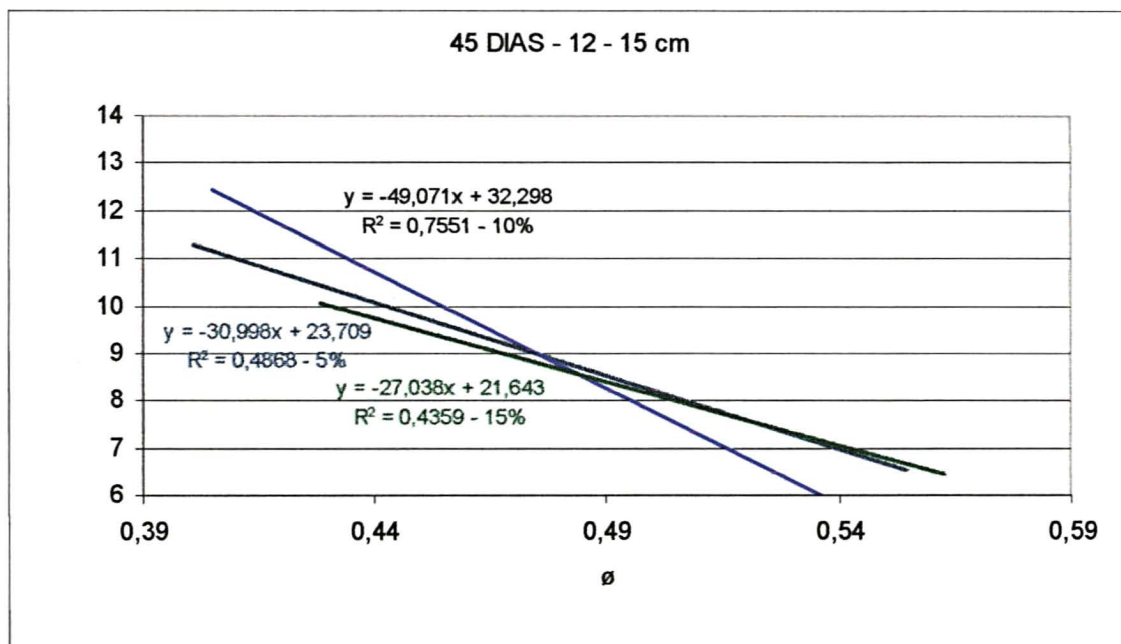


GRÁFICO 12.a - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E ÍNDICE DE CONE NOS DIFERENTES TRATAMENTOS AOS 45 DIAS DE PASTEJO NA PROFUNDIDADE DE 12 A 15 cm

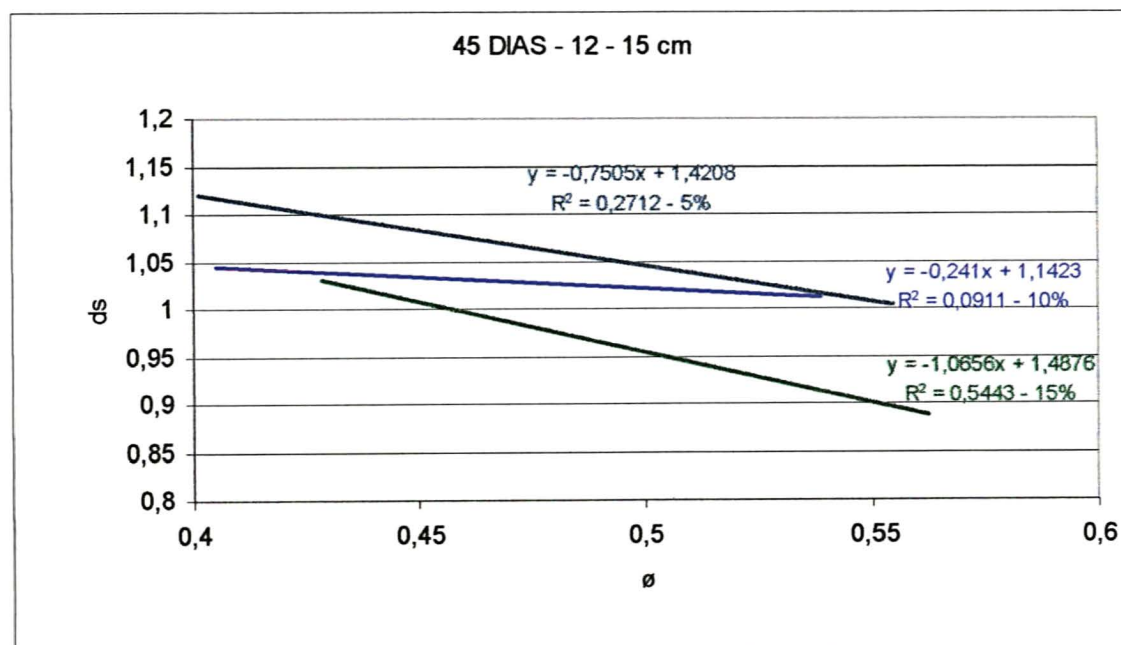


GRÁFICO 12.b - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E DENSIDADE DO SOLO EM DIFERENTES TRATAMENTOS AOS 45 DIAS DE PASTEJO NA PROFUNDIDADE DE 12 A 15 cm

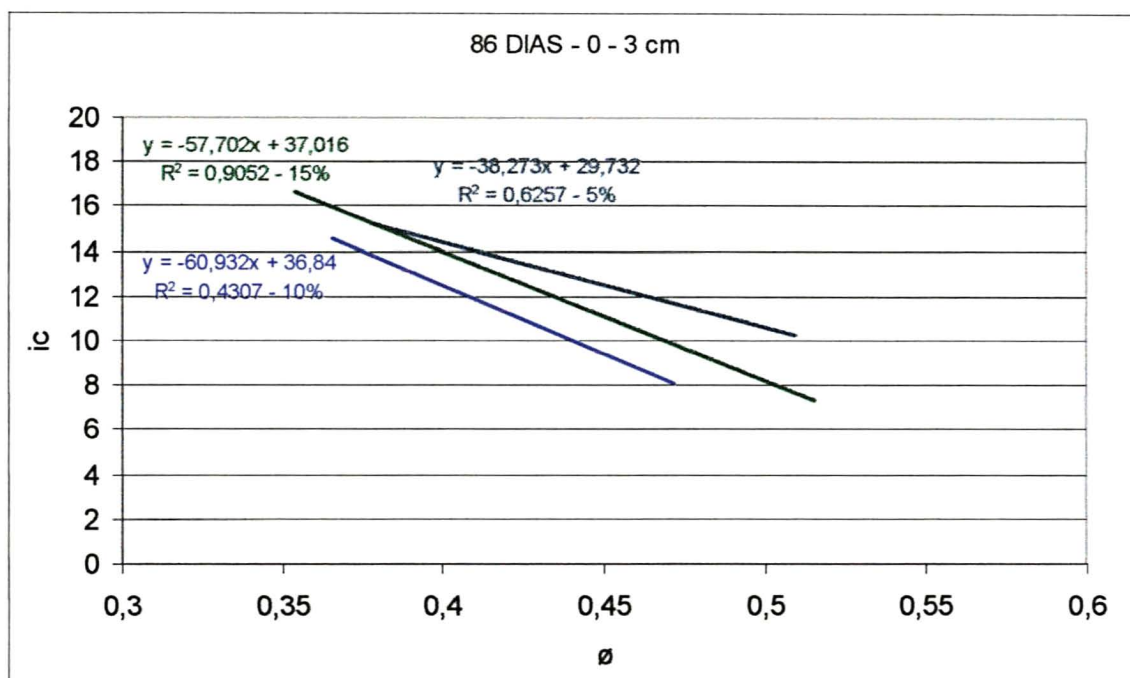


GRÁFICO 13.a - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E ÍNDICE DE CONE NOS DIFERENTES TRATAMENTOS NA SAÍDA DO GADO (86 DIAS) A 0 - 3 cm DE PROFUNDIDADE

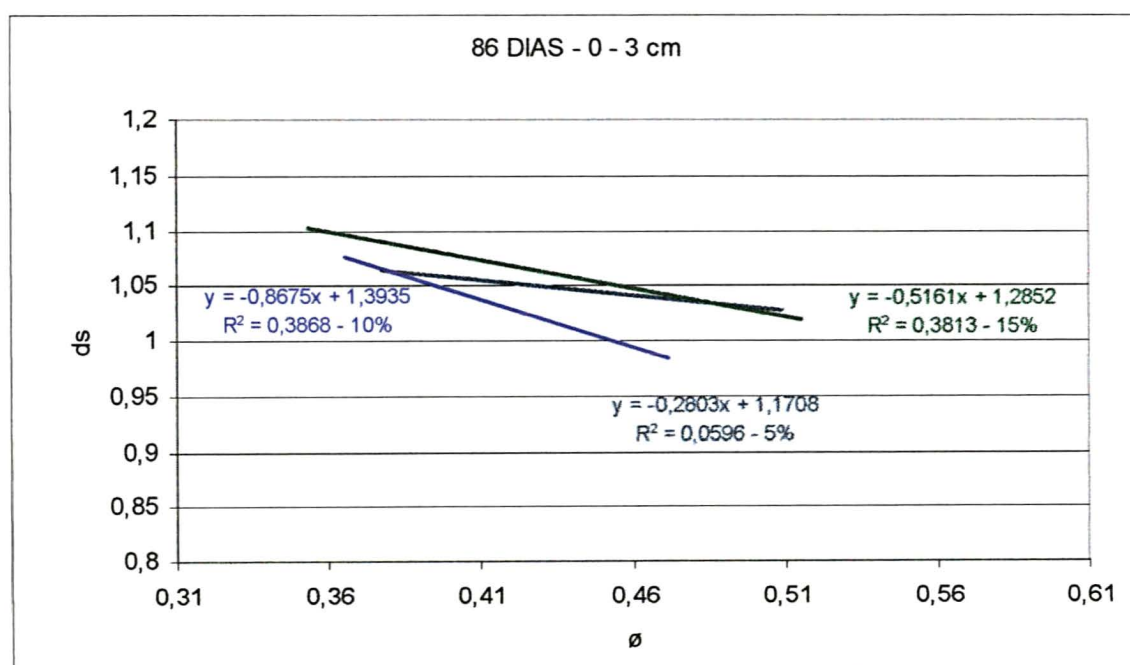


GRÁFICO 13.b - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E DENSIDADE DO SOLO EM DIFERENTES TRATAMENTOS NA SAÍDA DO GADO DA ÁREA E PROFUNDIDADE DE 0 A 3 cm

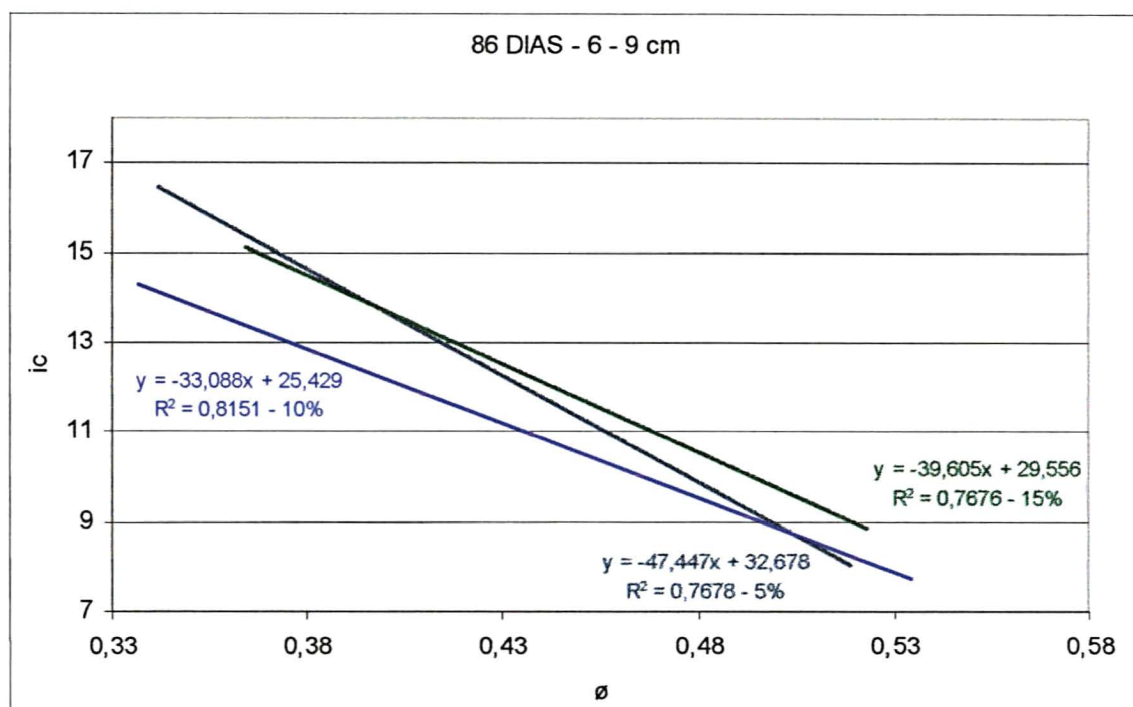


GRÁFICO 14.a - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E ÍNDICE DE CONE NOS DIFERENTES TRATAMENTOS NA SAÍDA DO GADO (90 DIAS) A 6 - 9 cm DE PROFUNDIDADE

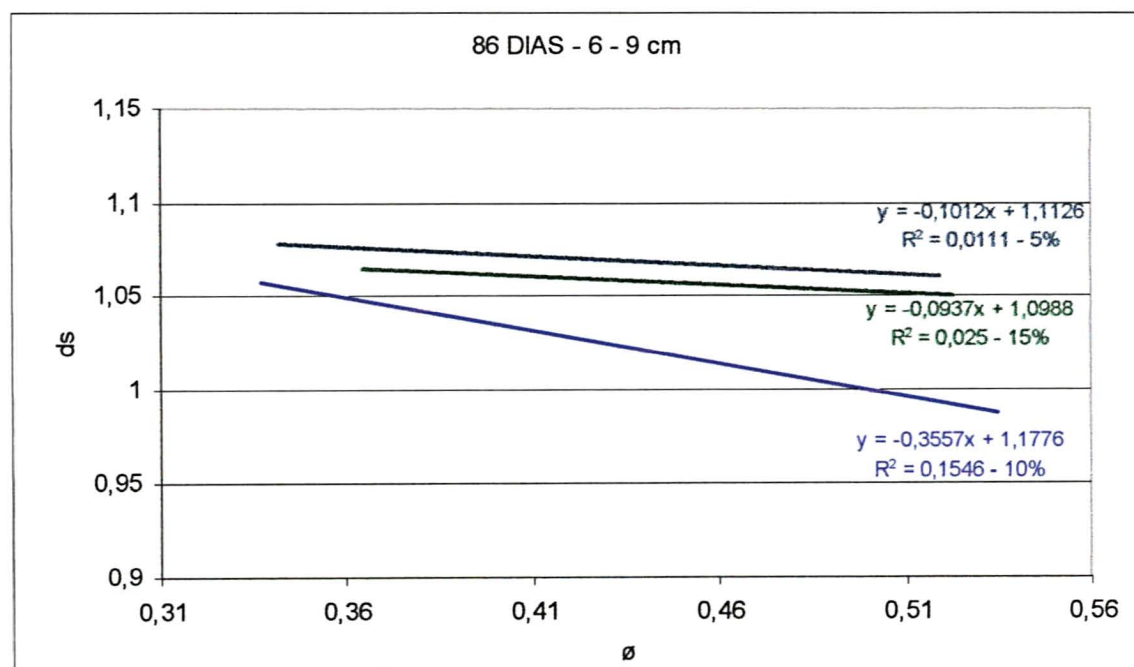


GRÁFICO 14.b - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E DENSIDADE DO SOLO EM DIFERENTES TRATAMENTOS NA SAÍDA DO GADO (86 DIAS) E PROFUNDIDADE DE 6 A 9 cm

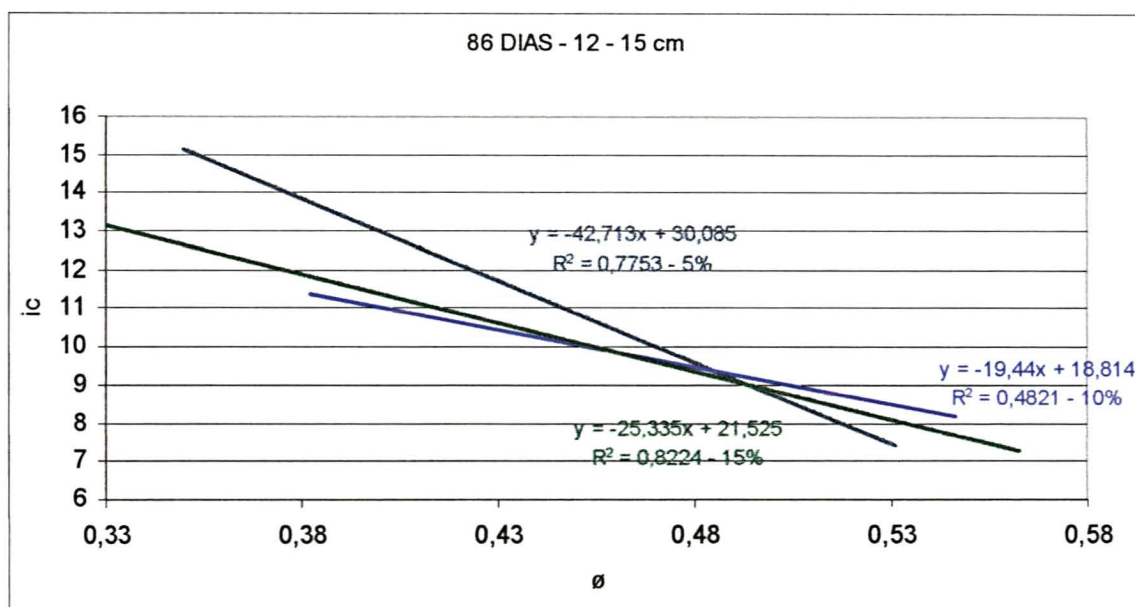


GRÁFICO 15.a - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E ÍNDICE DE CONE NOS DIFERENTES TRATAMENTOS NA SAÍDA DO GADO (86 DIAS) A 12 - 15 cm DE PROFUNDIDADE

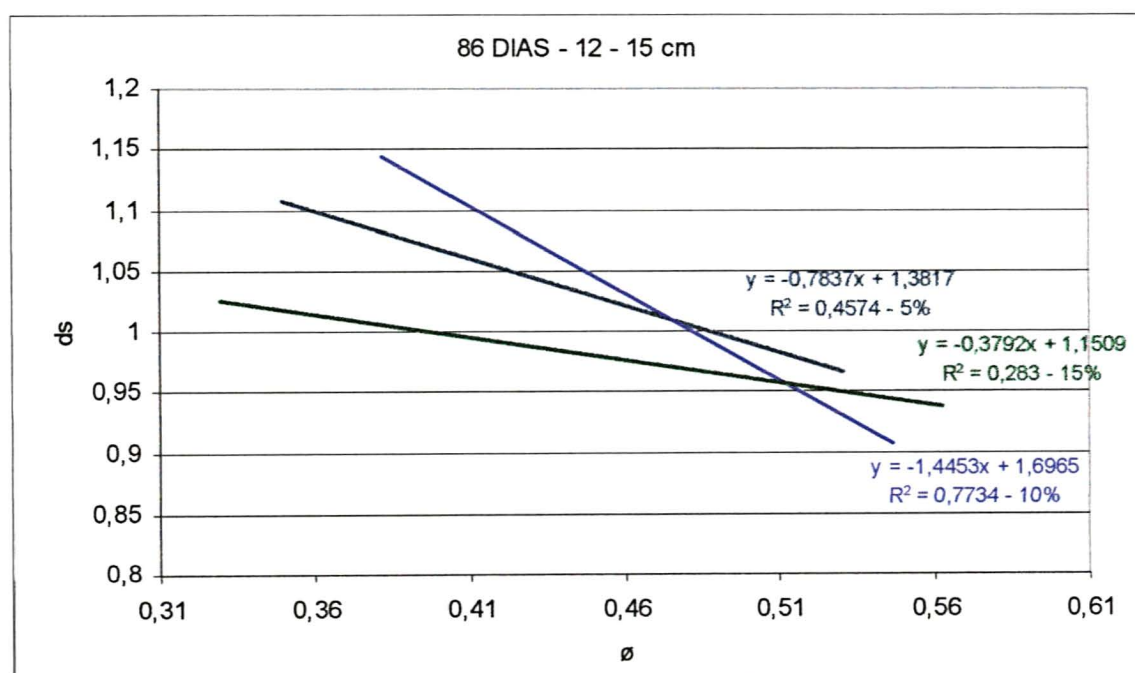


GRÁFICO 15.b - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E DENSIDADE DO SOLO EM DIFERENTES TRATAMENTOS NA SAÍDA DO GADO DA ÁREA E PROFUNDIDADE DE 12 A 15 cm

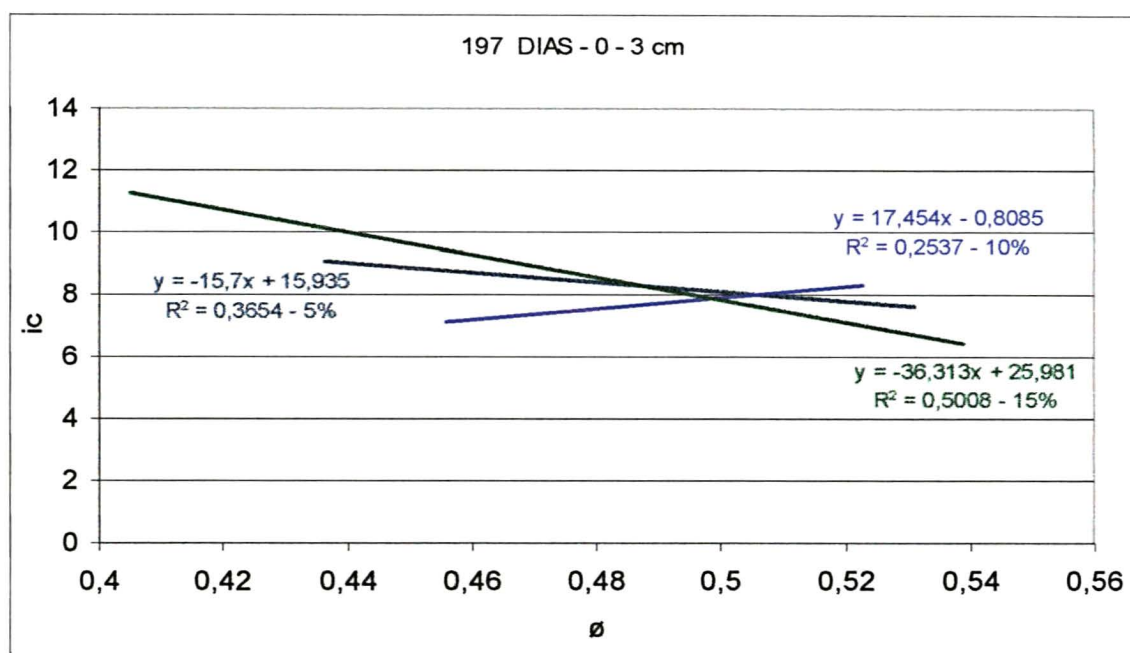


GRÁFICO 16.a - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE CONE E UMIDADE DE 0 A 3 cm DE PROFUNDIDADE AOS 197 DIAS (CULTURA DO MILHO)

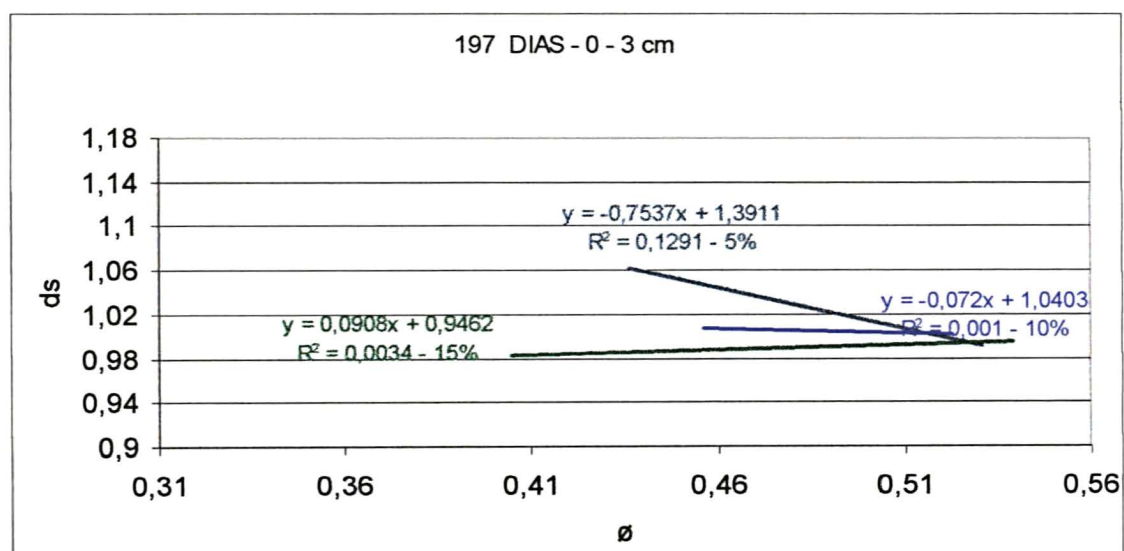


GRÁFICO 16.b - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE E UMIDADE DO SOLO DE 0 A 3 cm DE PROFUNDIDADE AOS 197 DIAS (CULTURA DO MILHO)

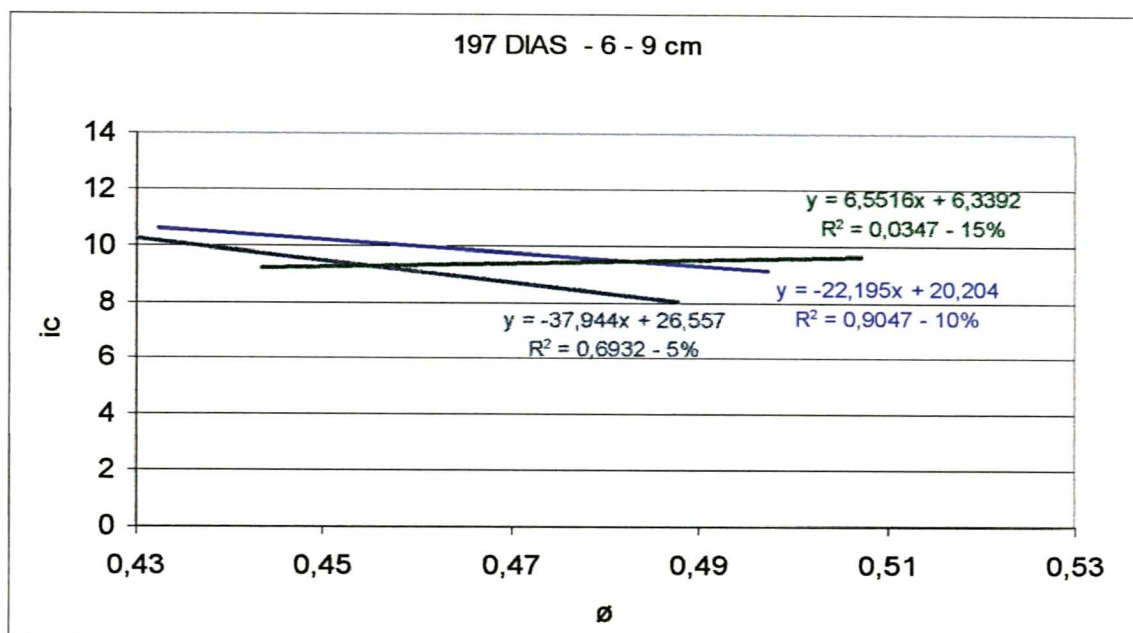


GRÁFICO 17a - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE CONE E UMIDADE DE 6 A 9 cm DE PROFUNDIDADE AOS 197 DIAS (CULTURA DO MILHO)

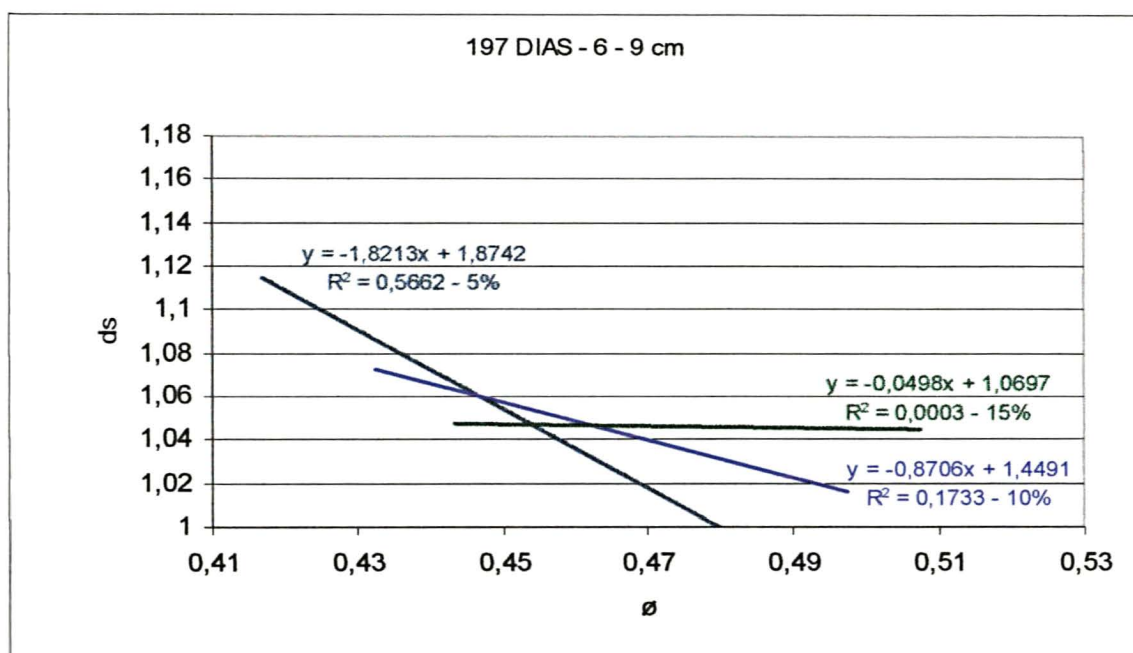


GRÁFICO 17.b - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE E UMIDADE DO SOLO DE 6 A 9 cm DE PROFUNDIDADE AOS 197 DIAS DA CULTURA DO MILHO

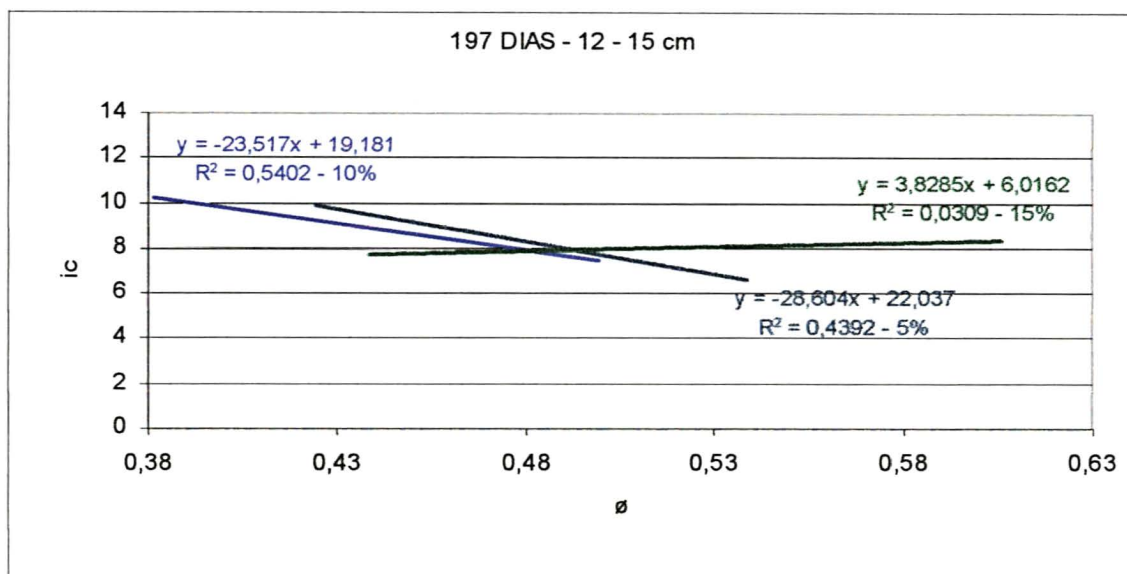


GRÁFICO 18.a - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE CONE E UMIDADE DE 12 A 15 cm DE PROFUNDIDADE AOS 197 DIAS (CULTURA DO MILHO)

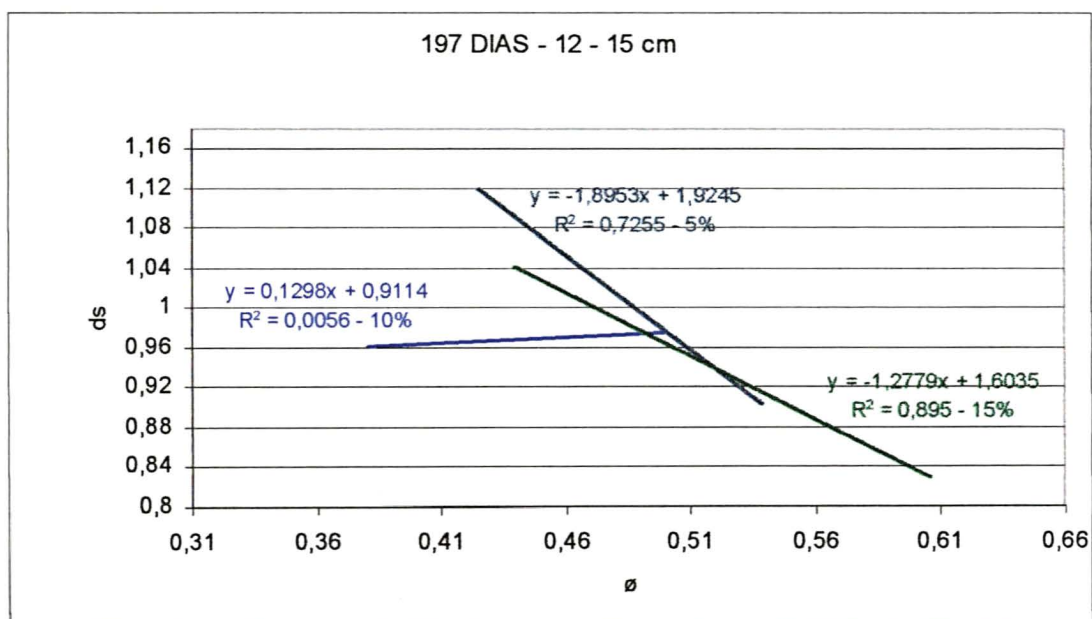


GRÁFICO 18.b - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE E UMIDADE DO SOLO DE 12 A 15 cm DE PROFUNDIDADE AOS 197 DIAS (CULTURA DO MILHO)

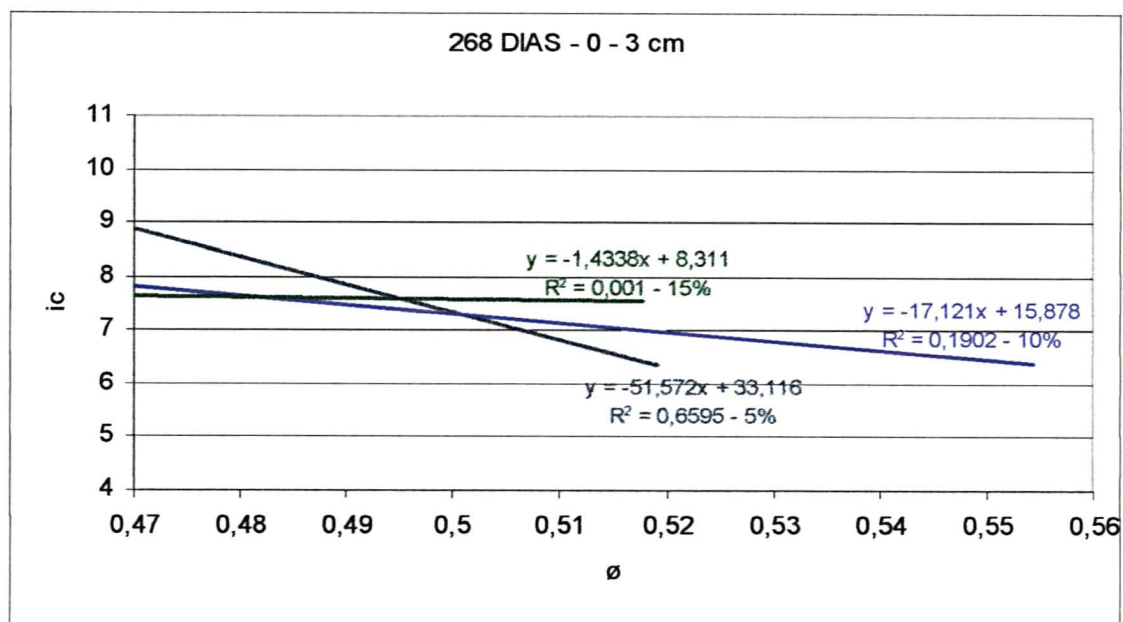


GRÁFICO 19.a - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE CONE E UMIDADE DE 0 A 3 cm DE PROFUNDIDADE AOS 268 DIAS (CULTURA DO MILHO)

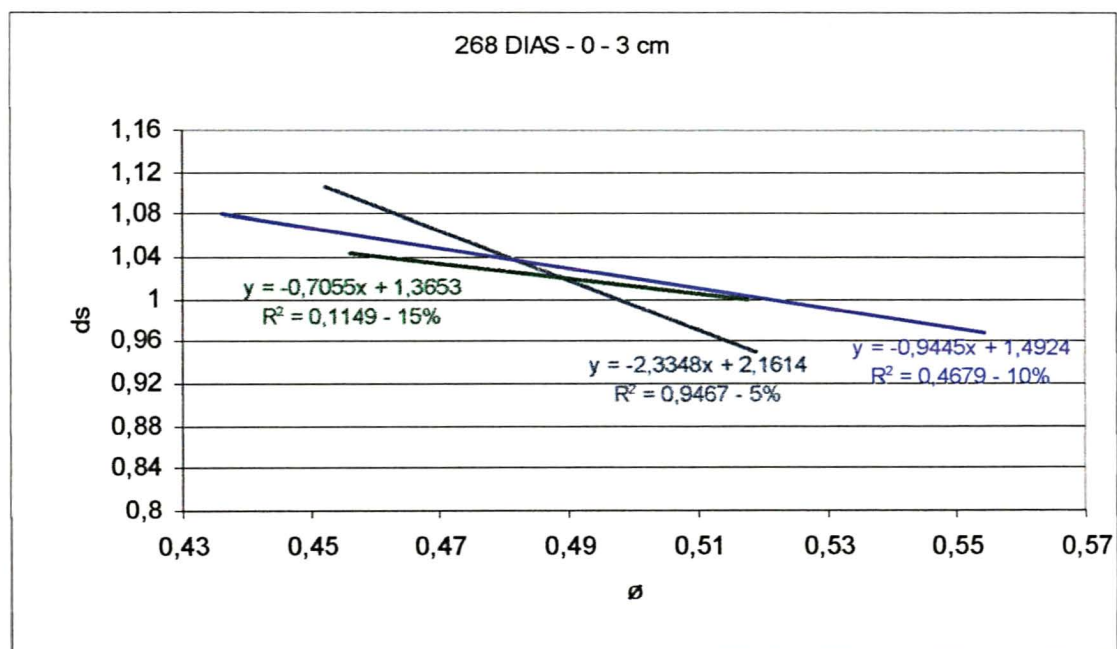


GRÁFICO 19.b - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE E UMIDADE DO SOLO DE 0 A 3 cm DE PROFUNDIDADE AOS 268 DIAS (CULTURA DO MILHO)

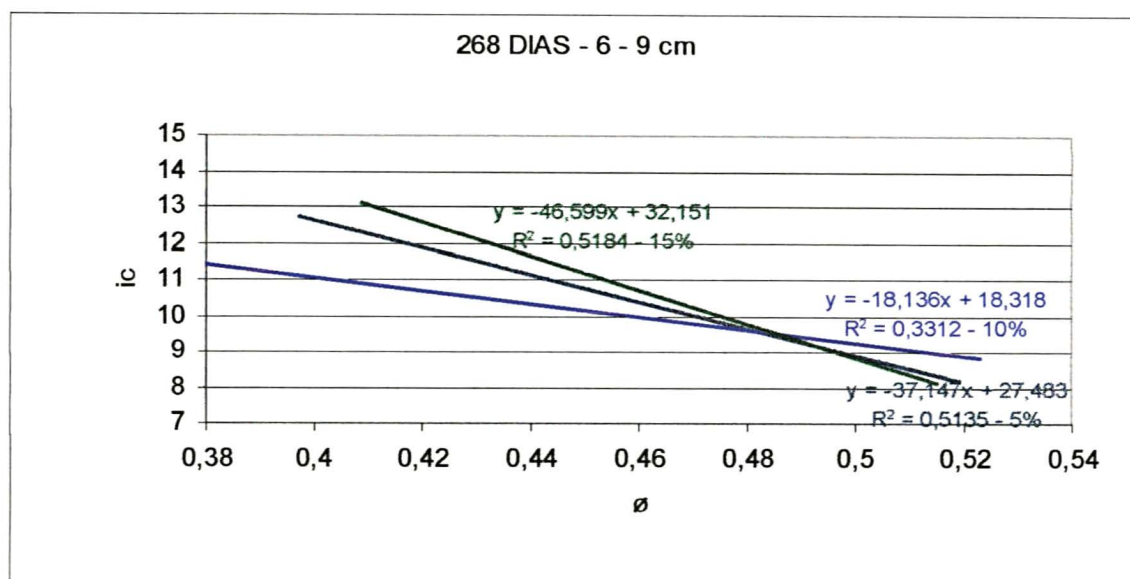


GRÁFICO 20.a - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE CONE E UMIDADE DE 6 A 9 cm DE PROFUNDIDADE AOS 268 DIAS (CULTURA DO MILHO)

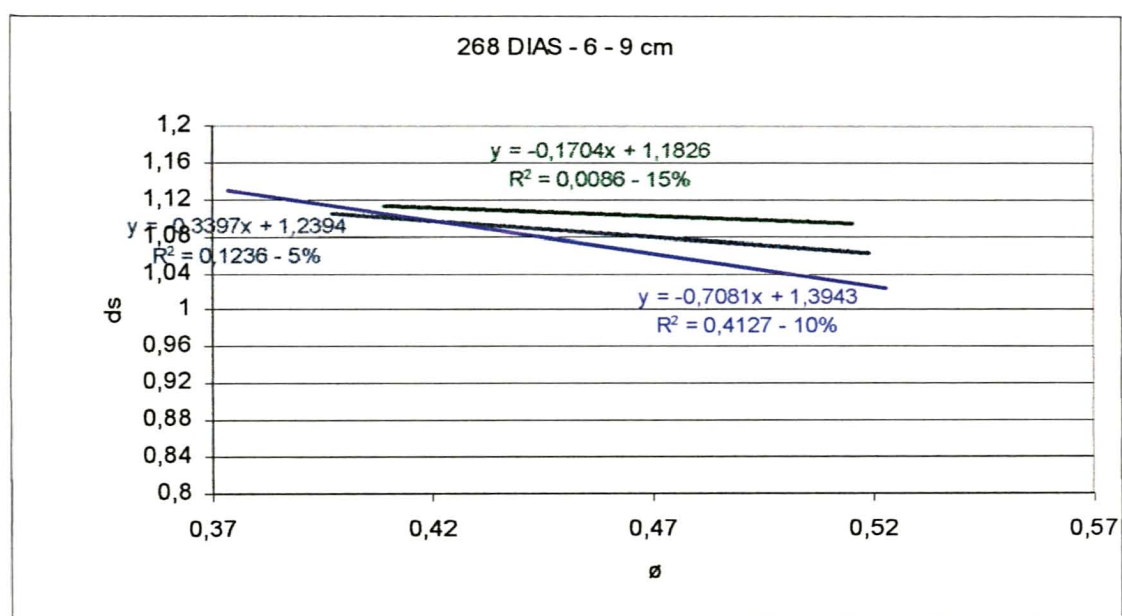


GRÁFICO 20.b - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE E UMIDADE DO SOLO DE 6 A 9 cm DE PROFUNDIDADE AOS 268 DIAS (CULTURA DO MILHO)

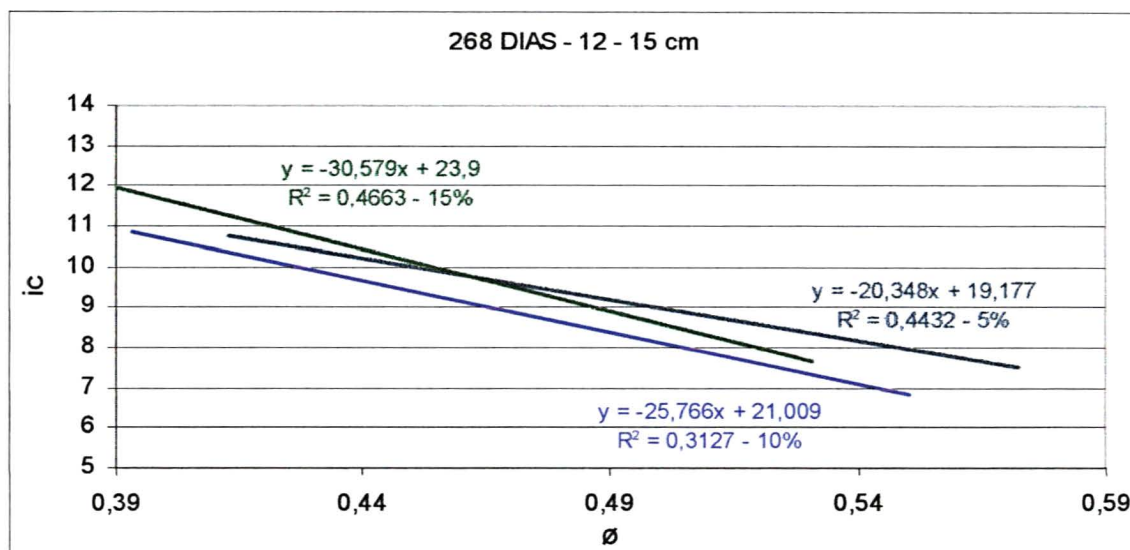


GRÁFICO 21.a - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE CONE E UMIDADE DE 12 A 15 cm DE PROFUNDIDADE AOS 268 DIAS (CULTURA DO MILHO)

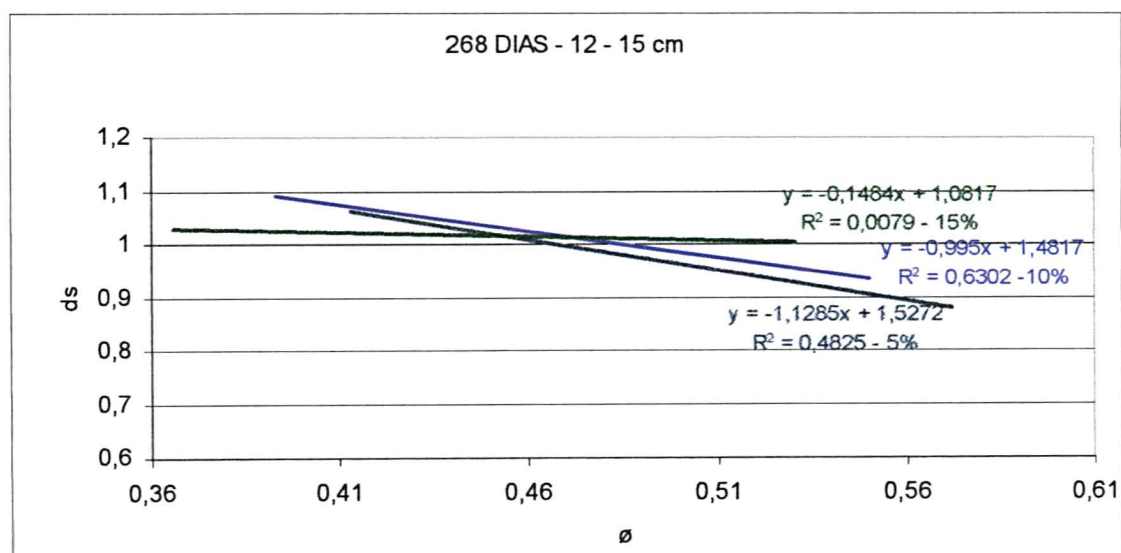


GRÁFICO 21.b - VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS NA RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE E UMIDADE DO SOLO DE 12 A 15 cm DE PROFUNDIDADE AOS 268 DIAS (CULTURA DO MILHO)

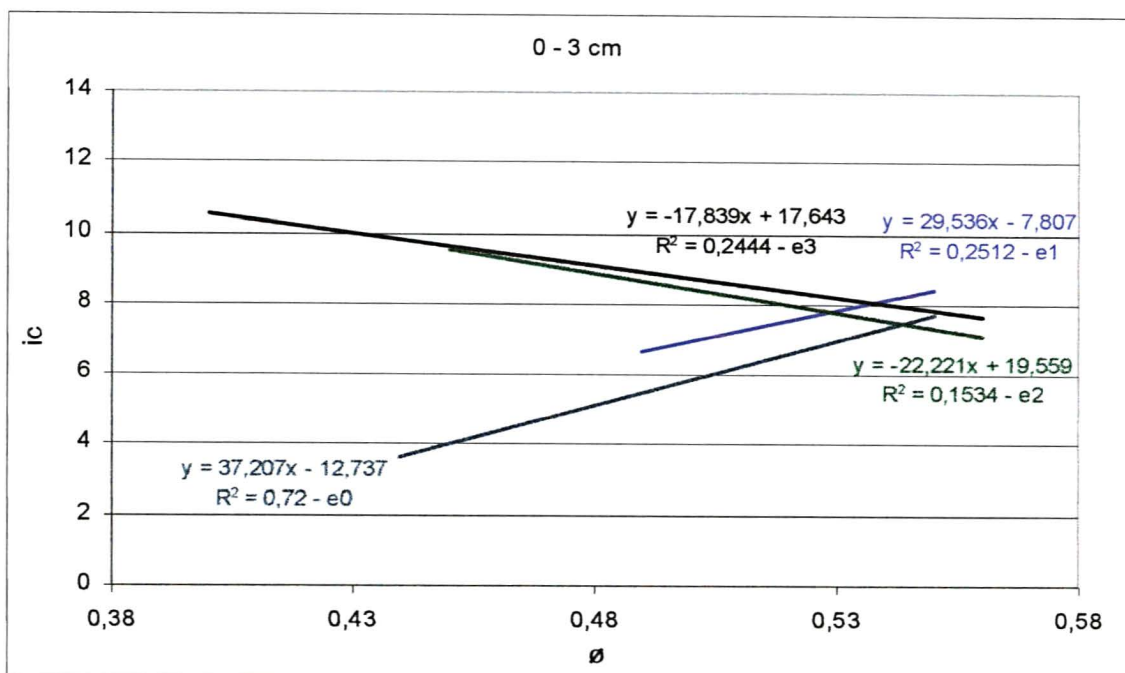


GRÁFICO 22.a - CURVA DE COMPACTAÇÃO DO LB NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 cm COM ENERGIAS E0, E1, E2, E3, ONDE IC É O ÍNDICE DE CONE (Kgf.cm-2) e \varnothing A UMIDADE DO SOLO (cm³ H₂O / 100 cm³ DE SOLO)

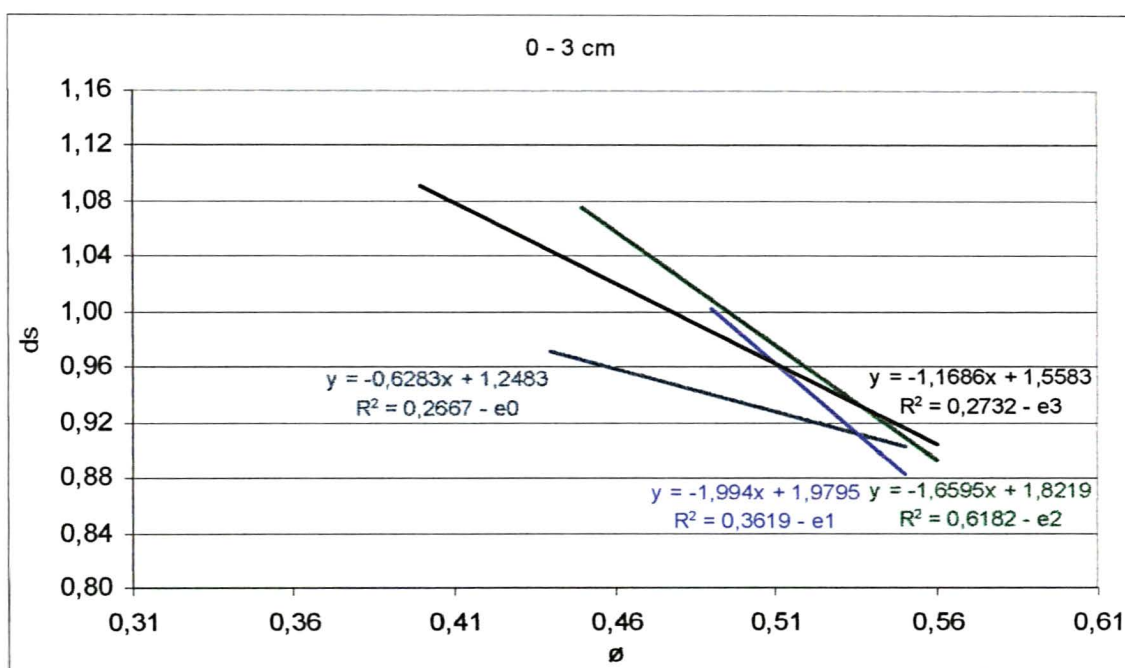


GRÁFICO 22.b - CURVA DE COMPACTAÇÃO DO LB NA PROFUNDIDADE DE 0 A 3 cm COM ENERGIAS E0, E1, E2, E3, ONDE Ds É A DENSIDADE DO SOLO (g / cm³) e \varnothing A UMIDADE DO SOLO (cm³ H₂O / 100 cm³ DE SOLO)

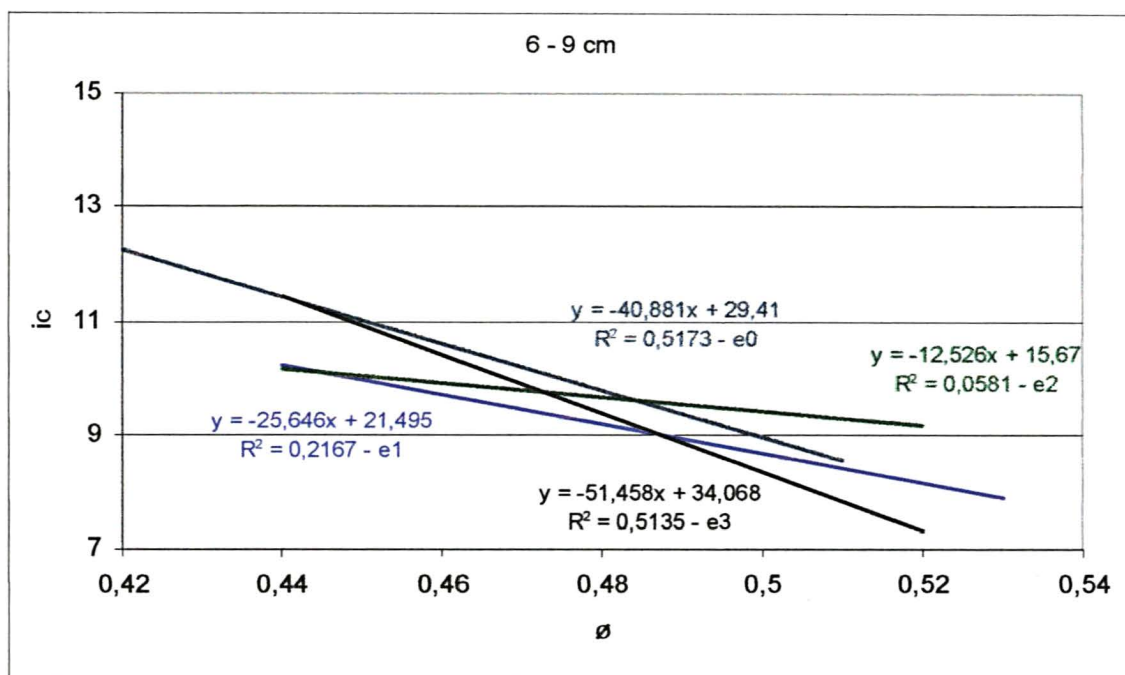


GRÁFICO 23.a - CURVA DE COMPACTAÇÃO DO LB NA PROFUNDIDADE DE 6 A 9 cm COM ENERGIAS E0, E1, E2, E3, ONDE IC É O ÍNDICE DE CONE (Kgf.cm-2) e w A UMIDADE DO SOLO (cm³ H₂O / 100 cm³ DE SOLO)

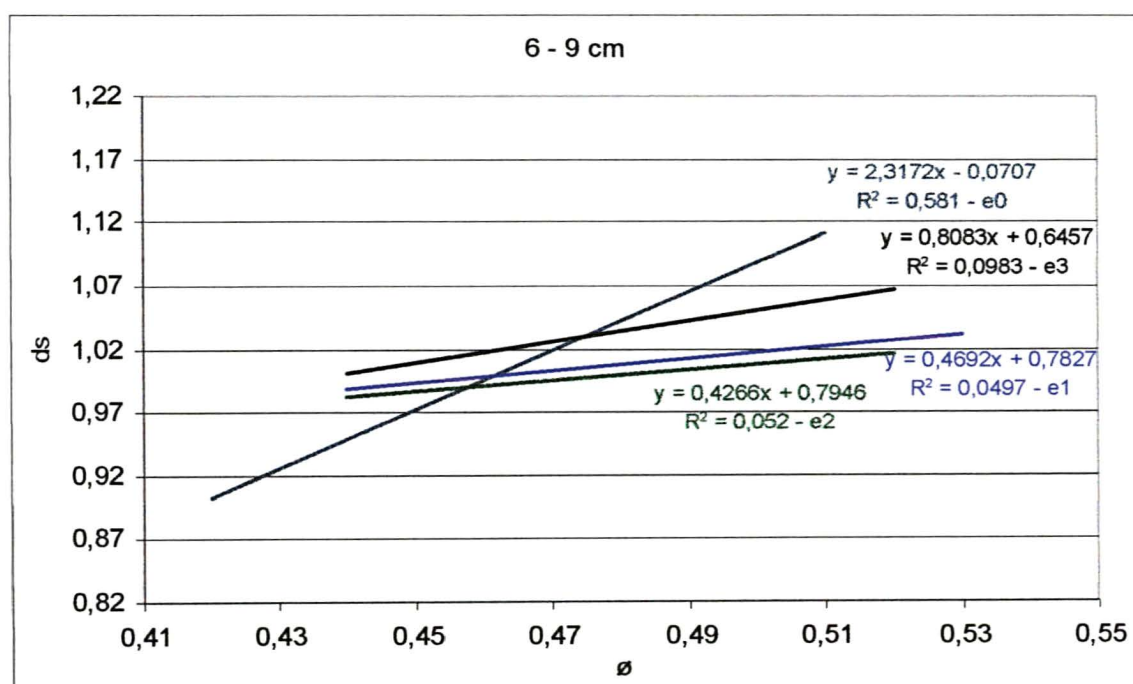


GRÁFICO 23.b - CURVA DE COMPACTAÇÃO DO LB NA PROFUNDIDADE DE 6 A 9 cm COM ENERGIAS E0, E1, E2, E3, ONDE D_s É A DENSIDADE DO SOLO (g / cm³) e w A UMIDADE DO SOLO (cm³ de H₂O / 100 cm³ DE SOLO)

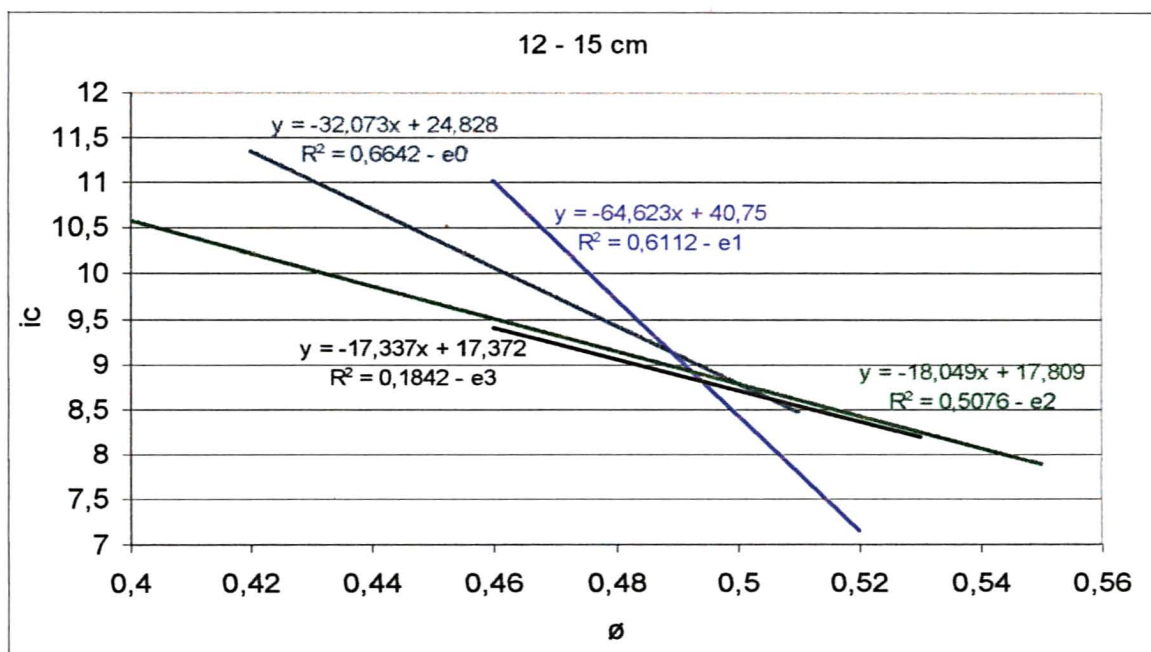


GRÁFICO 24.a - CURVA DE COMPACTAÇÃO DO LB NA PROFUNDIDADE DE 12 A 15 cm COM ENERGIAS E0, E1, E2, E3, ONDE IC É O ÍNDICE DE CONE (Kgf.cm-2) e w A UMIDADE DO SOLO (cm³ H₂O / 100 cm³ DE SOLO)

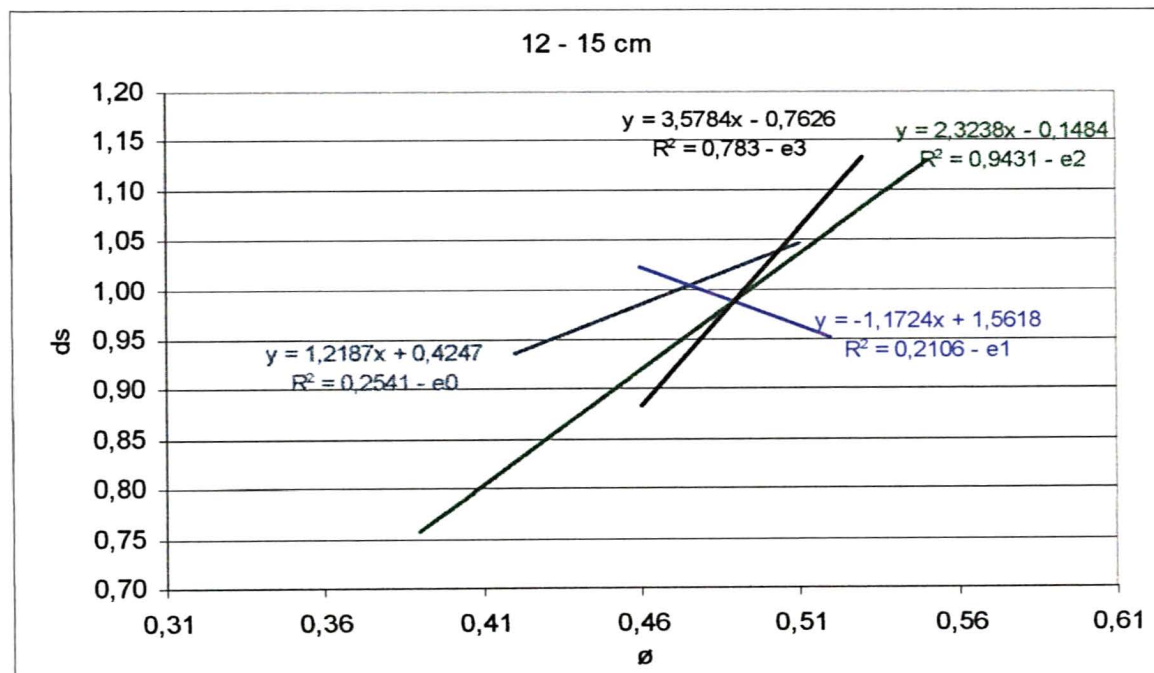


GRÁFICO 24.b - CURVA DE COMPACTAÇÃO DO LB NA PROFUNDIDADE DE 12 A 15 cm COM ENERGIAS E0, E1, E2, E3, ONDE Ds É A DENSIDADE DO SOLO (g / cm³) e w A UMIDADE DO SOLO (cm³ H₂O / 100 cm³ DE SOLO)

ANEXOS



ANEXO I – PROCTOR MODIFICADO

ANEXO II - RECOMENDAÇÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO USO DO PENETRÔMETRO –SOLOTEST – REF.S - 210.

É utilizado para determinar a resistência à compressão do solo, resistência triaxial de solo, penetração com materiais betuminosos, etc.. Sua função é medir a força aplicada em materiais para determinar a capacidade de resistir a cargas variáveis aplicadas sobre materiais. É usado no campo ou no laboratório, sendo o seu uso muito amplo. A medida obtida no aparelho corresponde a resistência no local ensaiado.

Sua utilização como taxa admissível demandará a aplicação de um coeficiente de segurança a critério do projetista da fundação.

É composto de dupla maçaneta (guidão), 4 astes de 15" com 3 divisões, um anel dinamométrico capacidade 100 kgf, uma ponta cônica removível, três luvas de emenda. certificado de aferição, gráfico do anel.

O relógio comparador do anel possui uma trava para possibilitar ao operador uma leitura mais precisa (após a leitura apertando- se o botão abaixo do mostrador o ponteiro voltará ao zero inicial); acondicionado em estojo.

ZERAR O PENETRÔMETRO

Após a montagem, certificar que as luvas, junções e relógio comparador estejam bem seguros, em seguida coloca-se o aparelho na posição de uso e "zerar" o relógio comparador.

OPERAÇÃO

Com o terreno já limpo, o aparelho na posição vertical, relógio comparador zerado fazer um esforço de compressão a fim de que a ponteira

cônica penetre toda no solo. Fazer a leitura e ler o gráfico (curva de calibração do anel). à carga máxima de penetração. A resistência de penetração é obtida dividindo-se a carga de penetração pela ÁREA DE BASE DO CONE de diâmetro 28,4mm = 1,119 sq in=6,33cm².

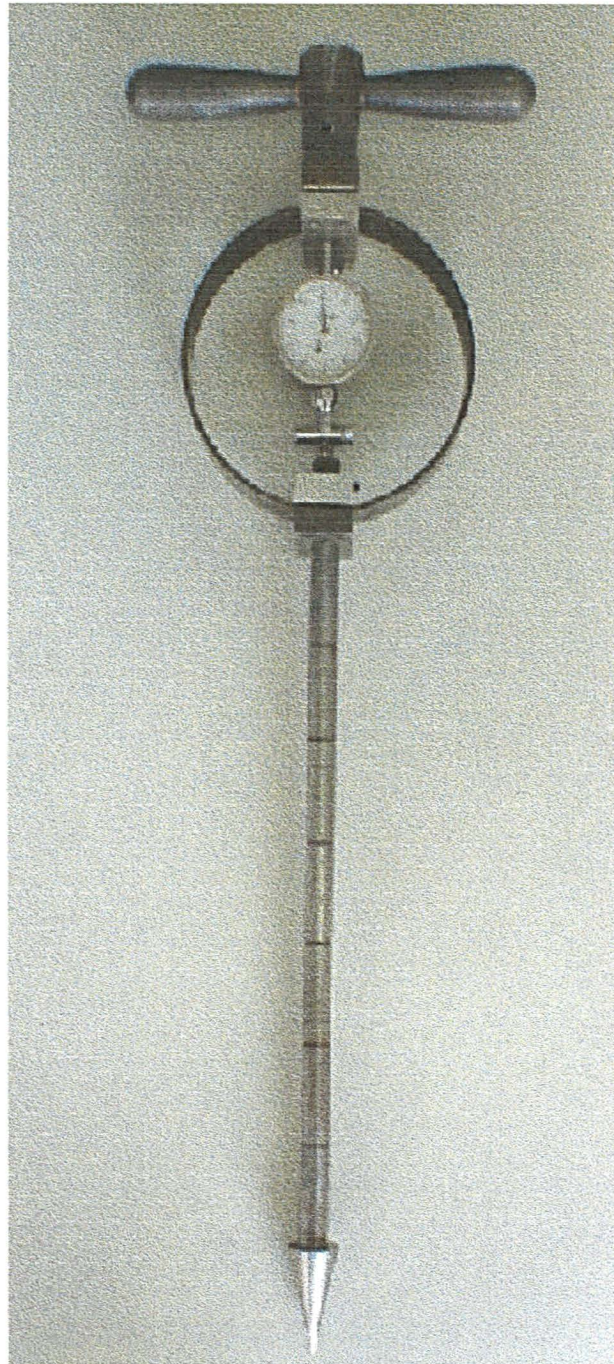
SEGURANÇA DO RELÓGIO

O relógio sendo um instrumento sensível e de alta precisão, deve ser protegido contra choques, quedas, umidade, manuseio irregular ou indelicado. Nunca deverá ser imergido em água, nem usado em tempo chuvoso e seu transporte deverá ser feito com proteção.

CALIBRAÇÃO E RECALIBRAÇÃO

O anel dinamométrico é fornecido pela SOLOTEST numerado e com certificado oficial de aferição. Em caso de perda a empresa fornece cópia, bastando citar esse número. Depois de constante uso deverá ser calibrado.

Nota: Em regiões de alta consistência ou compacidade, quando o cone não chega a penetrar inteiro e a carga estiver próximo do limite do anel dinamométrico a resistência poderá ser obtida multiplicando por um fator o quanto do cone penetrado. À leitura mais fracionada pode ser inevitável erros. Ex. Se penetrar apenas meio cone, multiplicar por 4. Se penetrar apenas um quarto do cone, multiplica por 16.



ANEXO II – PENETRÔMETRO (SOLOTEST Ref. S – 210)